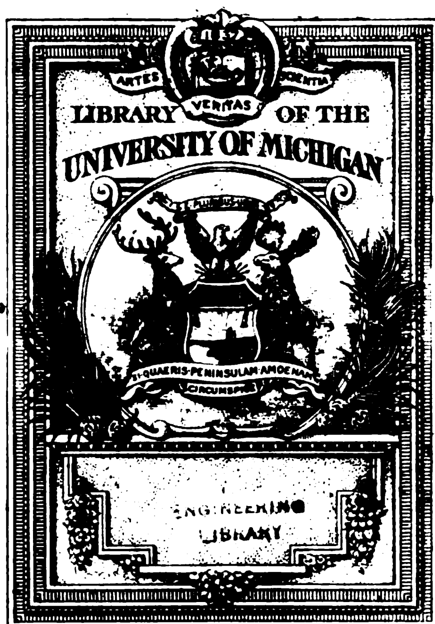
Annales des ponts et chaussées


ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
ENGINEERING
LIBRARY



ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

1re PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

7e SÉRIE

9e ANNÉE

1899

1er TRIMESTRE

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES

DE L'ÉDITEUR DES ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

(Période 1881-1900)

Conditions stipulées au profit des auteurs :

Vingt-cinq exemplaires seront remis à chacun des auteurs des mémoires publiés.

. . . .

Mme Dunod devra exécuter, pour le compte des auteurs qui en auront fait la demande au moment même où ils enverront leurs manuscrits à l'Administration, et sur l'avis qui lui en sera donné, des tirages à part de leurs mémoires aux prix suivants :

1° Par *feuille de texte* et pour le premier cent d'exemplaires, 10 francs ; pour chaque centaine en plus, 5 francs ;

2° Par *planche* et par cent exemplaires, 10 francs ;

3° Pour *brochage, couverture et faux frais :* pour une feuille de texte seule, 2 fr. 50 ; pour chaque feuille supplémentaire et chaque planche, 25 centimes ;

4° Pour un *titre spécial imprimé*, 10 francs.

Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec Mme Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits des *Annales* qu'ils voudraient publier séparément pourront, avec l'autorisation de l'Administration, traiter avec tout autre éditeur et, dans ce cas, les planches et les bois des *Annales* pourront leur être prêtés pour les tirages qu'ils auront à faire ; mais la mise en vente de leurs mémoires ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons des *Annales* auxquelles ils auront été empruntés.

AVIS IMPORTANT.

La Commission des *Annales* rappelle qu'elle n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs, et qu'elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

Ire PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS
RELATIFS
A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

7e SÉRIE

9e ANNÉE

1899

1er TRIMESTRE

PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS
RELATIFS
A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

N° 1

PAROLES

PRONONCÉES SUR LA TOMBE DE M. JEAN-BAPTISTE KRANTZ,

SÉNATEUR, INSPECTEUR GÉNÉRAL HONORAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES

Par M. BROSSELIN, Inspecteur général.
Vice-Président du Conseil général des Ponts et Chaussées.

Messieurs,

Je viens, au nom du Corps des Ponts et Chaussées, rendre un dernier hommage et dire un dernier adieu à M. Jean-Baptiste Krantz, qui a été l'un de ses Membres les plus éminents.

Ses débuts comme Ingénieur remontent à 1841. Après une année passée dans le département de la Dordogne et deux années consacrées au port d'Alger, il est chargé, en 1844, du service de la Navigation de la Marne, et il

reste pendant neuf ans dans ce poste où il construit les canaux de Chelles et de Saint-Maurice.

En 1853, il se fait mettre en congé pour s'occuper de travaux de chemins de fer. Il entre d'abord au service de la Compagnie du Grand-Central, puis il passe au service de la Compagnie d'Orléans, et il construit le réseau central de cette Compagnie, réseau considérable et difficile, qui présente un développement de plus de 600 kilomètres, et dont les lignes rayonnent de Périgueux jusqu'à Limoges, Agen, Montauban et Rodez.

Il rentre, en 1863, au service de l'État. Il est, l'année suivante, nommé Ingénieur en chef et placé à la tête du département de l'Ardèche; mais il ne tarde pas à quitter ce département pour édifier le palais de l'Exposition universelle de 1867, et, cette grande œuvre achevée, il prend la direction du service de la Navigation de la Seine, qu'il conserve jusqu'en 1875.

Il laisse une trace féconde de son passage dans ce service, en exécutant les travaux importants, décrétés en 1866, pour donner à la Seine un mouillage de 2 mètres entre Paris et Rouen, en se faisant le promoteur du mouillage de 3 mètres dont la Navigation jouit aujourd'hui, et il prend sa retraite, en 1877, en qualité d'Inspecteur général honoraire.

M. Krantz avait été nommé Chevalier de la Légion d'honneur en 1860, Officier en 1867 et Commandeur en 1871. Il avait pris une part importante à la défense de Paris pendant la guerre de 1870; il avait été élu membre de l'Assemblée nationale en 1871, sénateur inamovible en 1875, et, en 1876, il avait été nommé commissaire général de l'Exposition universelle de 1878, fonctions qu'il a remplies avec une rare distinction et qui l'ont fait élever à la dignité de Grand-Officier de la Légion d'honneur.

M. Krantz avait une vive intelligence, un talent remar-

quable de constructeur et d'organisateur, un esprit ingénieux et inventif, et d'exquises qualités de cœur. Il savait se faire aimer, et, dans la haute situation à laquelle il était parvenu, il avait conservé un grand attachement pour le Corps des Ponts et Chaussées.

Ainsi que l'a dit M. le Président du Sénat, dans un éloquent discours, « il n'hésitait pas à monter à la tribune chaque fois qu'il croyait voir, dans un projet en discussion, ou une atteinte aux grands services publics auxquels il avait appartenu ou une menace contre un personnel dont il avait apprécié la valeur et qui voyait en lui le défenseur naturel de ses intérêts ».

Et ce n'était pas alors un étroit et mesquin esprit de Corps qui le guidait; il n'avait en vue que l'intérêt du pays, et il avait la conviction de le bien servir en rappelant l'œuvre, parfois méconnue, d'hommes qui accomplissent leur tâche sans bruit et en conscience, et y consacrent ce qu'ils ont de forces et d'intelligence.

M. Krantz était l'un de nos doyens vénérés; nous avions pour lui une respectueuse affection; nous le voyons disparaître avec un profond regret, et nous adressons à sa famille, si cruellement éprouvée, l'expression de nos douloureuses sympathies.

20 mars 1899.

N° 2

NOTICE
SUR LA VIE ET LES TRAVAUX
DE
M. SCHLEMMER,
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Par M. Ed. COLLIGNON, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite.

Nous essayons, dans la notice suivante, de raconter la vie d'un homme de bien, d'un habile ingénieur, qui a été l'un des plus dignes représentants du Corps auquel il a appartenu. Parmi nos lecteurs, il y en aura plusieurs qu'il a rencontrés dans sa longue carrière ; pour eux, notre récit réveillera des souvenirs auxquels ils doivent attacher un grand prix. Pour les autres, plus jeunes, ils s'intéresseront à la biographie d'un de leurs devanciers, dont l'exemple est encore bon à suivre, et, comme lui, ils tiendront à transmettre aux générations futures les traditions d'honneur qui ont toujours été le patrimoine du Corps des Ponts et Chaussées.

I

Georges Schlemmer naquit le 11 janvier 1820 à Erckartswiller, canton de la Petite-Pierre (Lützelstein), dans l'ancien département du Bas-Rhin. Son père était entré dans l'Administration forestière, lorsque les forêts qu'il gérait

au compte de seigneurs allemands furent réunis au domaine de l'État français. C'était un homme très considéré dans le pays, et qu'on venait souvent consulter sur des questions litigieuses. La première enfance de Georges s'est écoulée dans ce milieu perdu au sein des massifs forestiers de l'Alsace. Mais le climat très rude d'Erckartswiller convenait peu à son tempérament, et, autant pour lui faire respirer un air moins vif que pour commencer son éducation, on l'envoya à la ville de Wasselonne, dans la famille de sa mère, où il reçut à l'école primaire les premiers rudiments des connaissances humaines. L'instruction s'y donnait en allemand, ou plutôt en alsacien ; c'est seulement à quatorze ans que Georges Schlemmer commença à apprendre et à parler la langue française. Il perdit son père de bonne heure et se trouva, tout jeune encore, sans autres protecteurs que sa mère, quelques parents du côté maternel et quelques amis.

De l'école de Wasselonne, Georges, âgé de quatorze ans, passa au collège communal de Phalsbourg, où les cours se faisaient en français. Les notes qui restent de son séjour dans ce collège le signalent comme un élève studieux et appliqué, d'un caractère affable, et ayant déjà un remarquable esprit de conduite. Lorsqu'il s'agit pour lui d'achever son éducation et de choisir sa carrière, il quitta Phalsbourg et entra dans la classe de philosophie, au Collège royal de Nancy. Ses goûts, à cette époque, l'auraient dirigé vers le professorat. Mais les rapides progrès qu'il fit dans les sciences le déterminèrent à courir les chances des examens d'entrée à l'École polytechnique, et le succès couronna ses efforts. Après une préparation qui fut nécessairement très rapide, il fut reçu en 1840 à l'École le 101e sur une promotion de 210.

Le régime de l'École polytechnique profita bien à Georges Schlemmer, qui, du rang de 101e à l'entrée, monta au troisième rang au passage, reçut en seconde année les

galons de sergent-fourrier, et fut chef de la salle Onze pendant la session 1841-1842; à la sortie, il fut classé le quatrième sur la liste générale, et le second dans la promotion de 34 Élèves-Ingénieurs qui entrèrent cette année-là à l'École des Ponts et Chaussées.

Ces 34 Élèves ne passèrent à l'École de la rue Hillerin-Bertin (*) que deux ans, et furent versés dès 1844 dans les services actifs. Schlemmer reçut pendant cette période deux missions intéressantes, bien propres à développer en lui le goût du métier qu'il venait de choisir. En 1843 il fut attaché au service du canal de la Marne au Rhin, et spécialement chargé de suivre les travaux du souterrain de Liverdun (Meurthe); en 1844 il fut envoyé dans le département de Saône-et-Loire et remplaça par intérim l'Ingénieur de la Navigation.

Le 1er décembre 1844, étant encore Élève-Ingénieur, il fut chargé du service de l'arrondissement de Moulins et des études de chemin de fer à travers le département de l'Allier. C'est seulement dix-huit mois plus tard, le 16 mai 1846, qu'il reçut le grade d'Aspirant, remplacé aujourd'hui par celui d'Ingénieur de troisième classe. Après quelques mois de résidence à Saint-Amand (Cher), où il fit les études de la ligne de Vierzon à Clermont-Ferrand, il alla se fixer à Moulins, au centre de son service. Malheureusement il y gagna une fièvre muqueuse, dont il se remit à peu près à Moulins, mais dont il n'obtint la guérison parfaite que par un séjour de quelques semaines sur la côte de la Méditerranée.

Nommé Ingénieur de deuxième classe le 8 mai 1847, il resta jusqu'en 1853 dans la région du Centre, occupé à construire pour le compte de l'État, sur une longueur

---

(*) L'École des Ponts et Chaussées occupait en 1842 un local situé rue Hillerin-Bertin, aujourd'hui rue Vaneau; elle n'a été transférée au n° 28 de la rue des Saints-Pères qu'en 1845.

d'environ 40 kilomètres, la portion du chemin de fer comprise entre Le Guétin et Villeneuve. Sa résidence avait été ramenée à Nevers. Certains tronçons de la ligne à construire offraient de grandes difficultés, notamment aux environs de Saint-Pierre-le-Moutiers, où elle traverse en souterrain une épaisse formation argileuse. Schlemmer sut s'en tirer à son honneur. A ces travaux de construction, il réunit de 1849 à 1851 un service de création récente, le service hydraulique du département de la Nièvre.

Il s'est toujours rappelé avec plaisir ces premières années de sa carrière, et les excellents chefs, Boucaumont aîné, puis Boucaumont jeune, sous les ordres desquels il avait été placé. Leur amitié lui a toujours été très précieuse. Nous disons bien: *leur amitié ;* car il semblait destiné par son caractère à conquérir plus que l'estime de ses chefs. Nous pouvons citer, à titre d'exemples, Jordan, Thirion, au chemin de fer de Genève; Charles Collignon, qu'il avait rencontré comme ingénieur en chef à sa mission de 1843, qu'il retrouva plus tard Directeur Général de la Grande Société des chemins de fer russes, et qui lui prodigua toute sa vie les marques d'une affection toute paternelle.

Nous arrêtons là, en 1853, notre première période, celle des débuts. L'ingénieur s'est formé ; il s'est révélé comme constructeur; il a montré son aptitude à concevoir et à diriger les travaux. Jusqu'ici Schlemmer a travaillé pour le service de l'État. Nous allons le voir passer au service des Compagnies et quitter la France : transformation qui fait époque dans sa vie, et qui est d'ailleurs contemporaine de l'une des plus brillantes phases de l'histoire du Corps des Ponts et Chaussées.

II

Après les hésitations des premiers essais, le développement des chemins de fer se poursuivait alors en France avec une grande énergie, et le Corps des Ponts et Chaussées y contribuait pour une large part, en fournissant à la construction un grand nombre de ses ingénieurs les plus distingués. Le mouvement ne tarda pas à franchir les limites de notre pays. De véritables colonies d'ingénieurs français furent appelées à coopérer à la création des réseaux étrangers. L'Italie, l'Autriche, la Russie, l'Espagne, offrirent, chacune à son tour, un champ d'action où nos camarades furent admis à faire l'application de leurs connaissances et de leurs talents. Sans doute l'intervention des capitaux français dans la formation des Compagnies étrangères fut pour beaucoup dans l'enrôlement de nos ingénieurs par ces grandes entreprises internationales. Il est permis de croire aussi que la réputation d'intégrité du Corps et ses traditions de droiture ont pesé d'un certain poids dans la balance où l'on appréciait les diverses prétentions rivales.

La Compagnie de Lyon à Genève, dans laquelle Schlemmer entra d'abord, était encore une Compagnie française. Le tronçon dont la construction lui fut confiée pénétrait seul sur le territoire suisse. Il alla habiter Genève ; il fut chargé de construire la ligne sur une longueur de 38 kilomètres environ, comprenant toute la portion suisse du tracé, et une portion française jusqu'au-delà de la station de Bellegarde. Les plus grands ouvrages de la section, et même de la ligne entière, sont accumulés sur cette dernière partie. Le tunnel du Credo, d'une longueur de 4 kilomètres, perce un épais contrefort qui domine la rive droite du Rhône. Le tracé du souterrain comprend deux alignements droits, raccordés par une courbe d'environ

871 mètres de développement et de 800 mètres de rayon. La percée est faite au travers de couches de molasse très peu stables, qui ont donné lieu à de sérieuses difficultés. Le Rhône formait, à l'époque de la construction, la frontière entre la France et le royaume de Sardaigne. Si les deux rives avaient été françaises, comme elles le sont aujourd'hui, on aurait fait passer le tracé sur la rive gauche du fleuve, où il n'aurait pas rencontré d'obstacles. A la sortie du tunnel du côté de Lyon, le chemin franchit la vallée de la Valserine, torrent qui descend des montagnes du Jura et va se jeter dans le Rhône. L'ouvrage construit comprend un long viaduc de onze arches, dont trois petites sur la rive gauche du torrent, sept petites sur la rive droite, et, entre ces deux groupes, une grande arche jetée sur le lit profondément encaissé de la Valseline; elle a 32^{m},40 d'ouverture, avec 47 mètres de hauteur entre le fond de la vallée et le dessous de la voûte. Cette grande arche, d'abord projetée avec double étage de voûtes, a été exécutée après suppression de la voûte inférieure admise dans le premier projet. Elle forme encore aujourd'hui un fort bel ouvrage, encadré dans un paysage des plus pittoresques. L'ensemble de ces travaux a fait le plus grand honneur à Schlemmer et lui a valu la croix de la Légion d'honneur à l'inauguration de la ligne de Genève (1858). Une lettre qu'il reçut à cette occasion du Vice-Président du Conseil administratif de la ville de Genève a complété pour ainsi dire la distinction qui lui était si légitimement accordée; à ses félicitations l'auteur de la lettre ajoutait en effet l'expression de ses regrets, à la pensée que la Suisse n'avait aucune décoration à joindre au ruban rouge de la France, pour récompenser d'éminents services et reconnaître le succès complet d'une belle série de travaux.

Schlemmer avait acquis dès les premiers jours une excellente situation à Genève. De nombreuses relations, dont

quelques-unes ont donné naissance à de véritables amitiés, ont contribué au charme et à l'intérêt de son séjour dans cette ville. Le travail ne lui manquait pas d'ailleurs. Outre la ligne principale dirigée vers Lyon, il construisait un tronçon du prolongement de cette ligne vers Lausanne pour la traversée de l'enclave de Versoix, qui appartient au canton de Genève, tout en se trouvant englobée dans le canton de Vaud. Il avait été adjoint au Comité suisse chargé de préparer la concession d'une ligne de Lausanne à Berne par Fribourg, qui, construite à présent et prolongée vers Lucerne, vers Zurich, vers Bâle,... constitue l'une des principales artères du réseau de la plaine suisse.

La Compagnie de Lyon à Genève fut bientôt englobée dans la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, et Schlemmer devint libre, dès 1859, de porter son activité sur un autre théâtre.

La Grande Société des chemins de fer russes, fondée en 1857, fut placée pendant ses cinq premières années sous une direction française. Une vingtaine d'ingénieurs des Ponts et Chaussées, de différents grades, s'enrôlèrent dans cette Société en 1857 et, formant avec les ingénieurs russes un personnel international, se mirent sur-le-champ à l'étude des lignes à construire. A la fin de 1858, le réseau avait été étudié dans la plus grande partie de son étendue ; mais les travaux avaient été concentrés presque exclusivement sur les lignes de Pétersbourg à Varsovie et de Moscou à Nijni-Novgorod. Les autres lignes, d'abord ajournées, furent ensuite retirées de la concession par l'accord intervenu entre le Gouvernement et la Compagnie. En 1859, la construction avançait sur la ligne de Varsovie et sur son embranchement de Vilna à la frontière de Prusse. L'exploitation, ouverte sur les sections les plus voisines de Pétersbourg, devait être organisée sur les sections suivantes au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

C'est la position de Directeur-adjoint de l'Exploitation pour cette ligne de Varsovie qui fut offerte à Schlemmer lorsqu'il quitta la Suisse. Le directeur titulaire était M. Charles Poirée, lequel était arrivé en Russie dès l'hiver de 1857, avec l'avant-garde des ingénieurs français. Il mourut en 1860; son adjoint hérita de sa position et de son titre, qu'il conserva jusqu'à la fin de la gestion française. La résidence de Schlemmer fut fixée à Pétersbourg, où l'appelaient ses fonctions nouvelles, et où il retrouvait une partie de sa famille; cette circonstance n'a pas été étrangère à son acceptation d'une offre qui l'entraînait si loin de son pays.

Avant d'entrer en fonctions, il avait étudié l'exploitation des chemins français, sur le réseau du Midi principalement, puis celle des lignes de l'Allemagne centrale, de sorte qu'il arrivait à son nouveau service muni d'une ample moisson de documents.

Il n'en est pas de l'exploitation comme de la construction, au point de vue du récit qu'on en peut faire. S'il est aisé de retracer en quelques mots l'œuvre de l'ingénieur qui élève de beaux ouvrages ou qui ouvre de nouvelles lignes à la circulation, les détails d'une exploitation à organiser, la multiplicité des mesures à prévoir et à transformer en règlements, les difficultés matérielles et morales que l'on rencontre, se prêtent mal à un résumé rapide et conduiraient à des développements tout à fait dépourvus d'intérêt. Aussi nous bornerons-nous à donner une appréciation de l'œuvre de Schlemmer, en extrayant le passage suivant d'une lettre écrite, en 1862, par son chef, le Directeur Général de la Grande Société, pour recommander au Ministre des Travaux publics son ancien collaborateur :

« C'était une très lourde tâche que celle d'organiser l'exploitation sur 1.200 verstes (1.380 kilomètres) de chemin de fer, dans un pays aussi dépourvu de ressources en

personnel et en matériel que l'est la Russie (*). Grâce à un travail opiniâtre, à un dévouement de chaque jour au milieu d'occupations toujours pressantes, à un esprit très organisateur et éminemment pratique, M. Schlemmer a créé et mis en mouvement une exploitation plus vaste qu'aucun Ingénieur n'en a eu à diriger, et cette exploitation a toujours fonctionné avec une régularité que les difficultés locales ne permettaient guère d'espérer... »

Signé : Charles COLLIGNON.

Schlemmer quitta Pétersbourg au mois de juin 1862 et revint en France en traversant la Suède, le Danemark, l'Allemagne et l'Autriche. Ainsi s'est terminée pour lui cette laborieuse et honorable campagne de trois années, qui lui a laissé et nous a laissé à tous d'excellents souvenirs. C'est à Pétersbourg qu'a commencé pour nous cette vie de famille, qu'il nous a été possible de renouveler plus tard à Paris, et qui a répandu tant de charme sur notre existence à tous.

De retour en France, Schlemmer se trouvait au bout de son congé et en position de passer à la première classe de son grade ; aussi demanda-t-il la faveur de rentrer au service de l'État.

Il fut chargé, sous les ordres de M. l'Ingénieur en chef Le Père, du service ordinaire de l'arrondissement de Clermont (Oise), avec ses compléments, service vicinal et service hydraulique. C'est dans ces fonctions qu'il reçut sa promotion à la première classe, pour prendre rang à partir du 1er mai 1863.

Nous relevons les passages suivants dans les notes de son Ingénieur en chef :

Aptitude spéciale : « Pour les grands travaux d'art. »

Observations particulières : « Le soussigné n'a qu'une

(*) Écrit en 1862.

crainte, c'est que M. Schlemmer ne cherche un service plus intéressant que celui de l'arrondissement de Clermont. »

Signé : LE PÈRE.

La crainte exprimée par M. Le Père était fondée. Il est certain qu'un Ingénieur qui a dirigé d'importants travaux et qui vient de mener de grandes affaires, n'est pas l'homme qui suivra avec intérêt les mille détails d'un service d'arrondissement, fût-il même complété par le service vicinal et le service hydraulique. Il s'acquittera régulièrement de ses obligations s'il est consciencieux, mais il songera à trouver autre part des occupations mieux en rapport avec ses aptitudes et avec ses goûts.

Une proposition de la Compagnie autrichienne de la Süd-Bahn, qui offrait à Schlemmer une position de Directeur-adjoint de l'exploitation, avec la résidence de Vienne, s'étant produite à cette époque, il justifia les appréhensions de son Ingénieur en chef et demanda un nouveau congé. Son séjour à Clermont n'a donc duré que quelques mois, et forme comme un hors-d'œuvre dans l'ensemble de sa carrière. Il entra, le 1er juillet 1863, au service de la Compagnie viennoise, en qualité d'adjoint au Directeur de l'Exploitation pour la partie du réseau livrée à la circulation, et aussi comme Ingénieur en chef de la construction d'une ligne située sur le territoire italien, la ligne de Padoue à Rovigo ; à cette époque, en effet, la Vénétie faisait encore partie de l'empire d'Autriche.

Jusqu'à présent nous avons vu Schlemmer réussir dans tout ce qu'il avait entrepris. Cette constance du succès ne s'est malheureusement pas continuée en Autriche. Son séjour à Vienne a été écourté, à bref délai, par de sérieuses menaces de maladie.

Déjà, en 1857, Schlemmer, qui possédait très bien la langue allemande, avait reçu des offres réitérées de la

Compagnie autrichienne du chemin de fer François-Joseph (*). Il les avait refusées, parce qu'il tenait à terminer ses travaux de Genève, mais aussi parce qu'il redoutait le climat de Vienne pour lui et pour les siens. La capitale de l'Autriche n'a pas une excellente réputation au point de vue sanitaire. Les vents d'Est, qui soufflent fréquemment, sèment dans la ville les miasmes recueillis au passage sur les marais de la Hongrie, et il suffit d'ouvrir un journal local pour y trouver le relevé des nombreuses victimes du typhus et de la tuberculose. Les étrangers, et surtout les Français, paraissent particulièrement soumis au tribut ainsi prélevé sur les vies humaines. Le personnel supérieur de la Compagnie de la Staats-Bahn, fondée par Maniel en 1855, avait été cruellement éprouvé à son arrivée à Vienne : deux de ses plus jeunes ingénieurs étaient morts coup sur coup. Les craintes de Schlemmer en 1857 reposaient donc sur une base positive, celle des faits observés.

Mais, en 1863, il venait de faire un séjour de trois ans à Saint-Pétersbourg, sous un climat autrement rigoureux que celui de Vienne, et il y avait très bien résisté. Il pouvait se croire en état d'opposer la même résistance aux influences morbides de l'Autriche, et c'est ce qui le détermina à accepter les offres de la Süd-Bahn et à quitter encore une fois la France.

Installé à Vienne, Schlemmer se remit à l'œuvre, comme toujours, avec une grande activité. La construction de la ligne de Padoue à Rovigo lui plaisait particulièrement ; mais l'exploitation de la grande ligne de Vienne à Trieste, avec les embranchements qu'elle lance vers la Hongrie, vers la Croatie, vers la Carniole, les aménagements des gares aux extrémités de la grande ligne et du

(*) Le réseau François-Joseph a été depuis partagé entre les Compagnies concessionnaires voisines.

port de Trieste, lui donnaient une foule d'intéressants sujets d'étude. Quelques malaises avant-coureurs le forçaient cependant de s'occuper de sa santé plus qu'il n'en avait l'habitude. En 1863, il avait fait une saison aux eaux de Kissingen. En 1864, il devait prendre les eaux de Carlsbad ; mais il ne fit que séjourner dans cette ville sans pouvoir y faire une saison. Vers la fin de 1864, il tomba tout à fait malade, et le mal prit pendant l'hiver suivant un caractère assez grave pour qu'il ait dû quitter l'Autriche et abandonner la position qu'il occupait à la Süd-Bahn, dès le mois de mars 1865.

Le climat de Vienne paraît avoir été ici le vrai coupable. Schlemmer quitta le service de la Compagnie et alla se refaire à Nice. En quelques semaines, grâce à un climat vivifiant dont il avait déjà autrefois éprouvé la bienfaisante influence, grâce aux soins intelligents et dévoués qui lui furent prodigués, il retrouva sa belle santé des anciens jours. Il n'est pas exagéré de dire que, de ce moment à ses dernières années, sa santé a toujours été en se fortifiant. Quelques mois de repos sous un ciel favorable ont suffi pour opérer en lui, aux yeux de tous ceux qui l'avaient vu à Vienne, une véritable métamorphose.

III

Schlemmer ne rentra pas tout de suite dans l'Administration des Ponts et Chaussées. Il consacra à un repos réparateur tout l'été de 1865. Après avoir obtenu sa guérison complète sur la côte de la Méditerranée, il partagea son temps entre une station au bord de la mer, en Normandie, et une autre près de Fribourg-en-Brisgau, au pied de la Forêt-Noire. Ce n'est que le 10 novembre qu'il fut remis en activité, et qu'il prit, dans le département des

Bouches-du-Rhône, le service de l'arrondissement d'Aix, auquel étaient rattachés le contrôle de la construction du canal du Verdon et le service de la Durance. Un peu plus tard, il y réunit le contrôle des travaux sur les embranchements du chemin de fer de Paris à la Méditerranée.

Il passa trois années dans la résidence d'Aix, en s'acquittant très bien des diverses fonctions qui lui étaient dévolues. Son nouveau chef, M. Monnet, Ingénieur en chef des Bouches-du-Rhône, se félicite dans ses notes d'avoir acquis la collaboration d'un ingénieur aussi expérimenté ; il constate que sa santé est tout à fait rétablie ; il le reconnait apte à toutes les branches du service, et, après des appréciations qui varient du *parfait* à l'*excellent*, ne trouve à lui adresser qu'un bien léger reproche : celui d'avoir avec ses subordonnés des rapports « très bons, peut-être un peu trop bienveillants ». Parmi les diverses questions que Schlemmer eut à traiter pendant son séjour à Aix, nous citerons comme l'une des plus intéressantes l'étude du régime de la Durance, pour laquelle il dressa, de 1865 à 1867, la courbe des débits journaliers.

Il prolongea son séjour à Aix jusqu'au 1er novembre 1868. Il y avait été apprécié aussi bien comme homme du monde que comme ingénieur ; son entrain, son urbanité, ont laissé les souvenirs les plus flatteurs dans la vieille cité parlementaire. Des raisons de famille le rappelaient à Paris et le décidèrent à quitter une résidence aussi agréable. En 1868, M. Monestier, nommé Ingénieur en chef, laissait vacant un poste d'Ingénieur du contrôle de l'exploitation des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée, et Schlemmer fut désigné pour le remplacer. Arrivé à Paris vers la fin de l'année, il s'installa dans une maison récemment construite sur le boulevard Saint-Germain : il y a passé les trente dernières années de sa vie.

Le contrôle des chemins de fer était déjà laborieux en 1868. Schlemmer conserva son service du 1[er] novembre 1868 au 1[er] août 1871. Lorsqu'en 1870 la guerre éclata et que Paris fut menacé, le contrôle fut transporté à Nevers, où il séjourna jusqu'à la fin des hostilités. En sa qualité d'Alsacien, Schlemmer opta en 1871 pour la nationalité française, non sans protester contre l'annexion de son pays natal à l'Allemagne.

Rentré à Paris, à la paix, il en sortit une seconde fois pendant la Commune, et ce n'est qu'en juin 1871 qu'il reprit définitivement possession de ses foyers. Cette même année, il abandonna le contrôle, qu'il avait conservé trois ans environ, pour prendre la succession de M. de Fourcy, comme secrétaire de l'une des sections du Conseil général des Ponts et Chaussées. C'est dans ces nouvelles fonctions qu'il reçut sa nomination d'Ingénieur en chef de deuxième classe. Il arrivait à ce grade à cinquante-deux ans; les ingénieurs qui avaient quitté le service de l'État pour passer au service des Compagnies étaient, surtout à cette époque, exposés à un avancement tardif.

Son nouveau service de secrétaire de section le mettait en rapport direct avec les Inspecteurs généraux qui formaient alors la tête du Corps des Ponts et Chaussées. Il lui faisait passer sous les yeux une foule de questions instructives et intéressantes. Si l'on demande à quoi un ingénieur aussi actif, longtemps appelé à diriger de grandes affaires, pouvait employer les loisirs que lui laissait son secrétariat, nous répondrons que Schlemmer savait s'intéresser à tout, qu'il avait un esprit chercheur et philosophique, qu'il aimait passionnément la lecture, et qu'il savait se tenir au courant du mouvement littéraire et du mouvement scientifique. En somme, la période que nous traversons ici ne lui a pas laissé un moment d'ennui. C'est alors qu'il publia, dans les *Annales des Ponts et*

Chaussées, plusieurs études sur le droit administratif : l'une en 1874, *sur la Jurisprudence en matière de délimitation des cours d'eau du domaine public ;* une autre en 1876, *sur la Propriété des alluvions dites artificielles ;* une troisième la même année, *sur les Commissions spéciales prévues par la loi du* 16 *septembre* 1807. Ces articles ont été remarqués par les lecteurs des *Annales* et ont valu à l'auteur de flatteuses félicitations.

Le secrétariat de section était pour Schlemmer un service tranquille, dont il s'accommodait très bien, et dont il a tiré un bon parti. Ses amis trouvaient néanmoins que ce service n'était pas en rapport avec sa valeur et s'attendaient à lui voir jouer tôt ou tard un rôle plus important. Ce rôle se préparait pour lui.

M. de Franqueville mourut en 1876, après avoir occupé pendant plus de vingt ans la Direction des Travaux publics. Cet événement fut l'occasion d'une transformation des services intérieurs du Ministère. Au lieu de concentrer dans la même main les Routes, la Navigation et les Chemins de fer, on créa deux Directions distinctes, l'une pour les chemins de fer seuls, l'autre pour les routes et la navigation réunies. On offrit à Schlemmer la première de ces deux Directions ; il l'accepta, non sans regretter un peu la tranquillité des années qui venaient de finir. Sa nomination date du 25 octobre 1876. Les Directions des Ministères sont toujours fort laborieuses et laissent peu de loisirs à ceux qui en sont chargés. A quelques exceptions près, d'autant plus honorables qu'elles sont plus rares, elles usent vite les hommes auxquels elles sont confiées. Comme capacité et comme santé, Schlemmer s'est montré à la hauteur de l'épreuve. Il ne conserva pourtant pas longtemps sa nouvelle situation sans qu'elle reçût une modification profonde. Lorsqu'à l'issue de la crise du 16 mai le parti républicain prit possession des affaires, l'entrée de M. de Freycinet au Ministère des Travaux

publics, le 13 décembre 1877, et la mise à exécution du plan qu'il apportait, et qui conserve encore son nom malgré les extensions qu'il a reçues depuis, entraînèrent une réorganisation complète des services intérieurs. Au lieu d'un simple Directeur des Chemins de fer, on en eut trois, savoir : un Directeur de la Construction, un Directeur de l'Exploitation, et un Directeur général centralisant l'ensemble des services. Schlemmer fut nommé Directeur de l'Exploitation le 26 février 1878. C'est sous ce titre qu'il a conservé ses fonctions au Ministère des Travaux publics jusqu'au 24 novembre 1881.

Le passage de Schlemmer au Ministère fournit à l'Administration centrale l'occasion de corriger les retards subis par son avancement. Nous avons vu plus haut qu'il avait été nommé Ingénieur en chef en 1872. Il reçut le 1er janvier 1877 la première classe de son grade. La croix d'officier lui fut donnée le 30 juillet 1878 par le Ministre de la Guerre, comme récompense de sa participation aux travaux des Comités chargés de l'organisation des voies ferrées au point de vue des exigences militaires. Enfin, le 16 septembre 1880, il reçut le grade d'inspecteur général de 2e classe.

Le temps d'un Directeur au Ministère est en grande partie absorbé par les séances des Commissions ou Comités auxquels il est appelé à assister. Schlemmer fut nommé successivement membre de la Commission des *Annales des Ponts et Chaussées*, membre de la Commission centrale des Chemins de fer, membre du Comité de l'Exploitation technique, membre permanent de la Commission de conciliation entre les administrations de chemins de fer et l'État, etc. Comme travail personnel il entreprit, à la même époque, d'utiles recherches sur les questions de tarifs et de trafics, sur les recettes et les dépenses de l'exploitation et sur l'application de formules et de constructions graphiques à la représentation des faits observés. Un peu

plus tard, il réunit à sa Direction de l'Exploitation la Direction des Mines, qui a passé depuis entre les mains de divers Directeurs. Mais il resta à peu près étranger à la construction des nouvelles lignes et au développement qui a été donné pendant cette période au réseau français.

L'organisation créée par M. de Freycinet en 1878 subsista sans changement sous les deux ministres qui lui succédèrent, MM. Varroy et Sadi-Carnot. Elle fut supprimée en 1881 par M. Raynal, qui fut ministre pour la première fois du 14 novembre 1881 au 30 janvier 1882. En entrant au Ministère, M. Raynal annonçait quelques projets de réforme, pour lesquels il tenait à se trouver en parfaite communauté de vue avec les Directeurs appelés à le seconder. Il commença par supprimer la Direction générale et par rétablir une Direction unique, comme avant 1878. Schlemmer aurait pu reprendre alors la position qu'il avait à son entrée au Ministère en 1876. Mais quelques divergences d'opinions s'étant révélées entre M. Raynal et lui, il écrivit, le 23 novembre, au Ministre que, « pour lui laisser toute liberté dans le choix de ses plus proches collaborateurs, il le priait de le considérer comme démissionnaire de ses fonctions de Directeur de l'Exploitation des chemins de fer et des Mines ». Sa démission fut acceptée le 24 novembre, et Schlemmer quitta le même jour le Ministère, où il avait passé cinq années. Il reçut, en partant, le précieux témoignage des regrets du personnel qu'il avait eu sous ses ordres pendant sa Direction. Parmi ses subordonnés, plusieurs lui restèrent attachés dans la suite.

Schlemmer fut nommé, le 12 décembre 1881, Directeur du Contrôle des chemins de fer de Paris à la Méditerranée et se retrouva à la tête du service où il avait exercé, douze ans auparavant, les fonctions d'Ingénieur ordinaire. Ce service est le dernier de ceux qui lui furent confiés

par l'État. Il le conserva jusqu'au 11 janvier 1885. A cette date il atteignait l'âge de soixante-cinq ans, et il fut admis à faire valoir ses droits à la retraite. Il avait quarante-trois années de service, sur lesquelles douze environ avaient été passées dans les Compagnies.

IV

Pour beaucoup de fonctionnaires la retraite est une véritable épreuve ; elle peut même devenir fatale à ceux qui, entièrement absorbés par leurs fonctions officielles pendant leur temps d'activité, ne trouvent plus, dès qu'on les en dépouille, aucun intérêt à la vie. Tel n'était pas l'Inspecteur général dont nous retraçons l'histoire. L'Administration centrale ne lui demandant plus son concours, il profita de sa liberté pour organiser son existence d'une manière agréable et productive ; à ce point de vue, il vaut mieux prendre sa retraite à soixante-cinq ans qu'à soixante-dix ; cinq ans de moins facilitent la création d'occupations nouvelles.

Déjà les affaires étaient venues au-devant de Schlemmer lorsqu'il était encore à la direction du Contrôle de Paris-Lyon-Méditerranée. Le 16 janvier 1884, il avait été appelé à jouer le rôle d'expert dans une grosse affaire plaidée devant le tribunal fédéral de Berne ; il s'agissait d'un procès entre l'entreprise Favre et la Compagnie des Chemins de fer du Saint-Gothard. L'expertise réunissait plusieurs Ingénieurs étrangers : M. Doppler, Ingénieur en chef autrichien, chargé du percement de l'Aarlberg ; M. Lisle, Professeur à l'École polytechnique de Suttgard, et M. Meyer, l'un des Ingénieurs les plus considérés de la Suisse occidentale. L'usage de l'allemand était indispensable pour suivre cette affaire, qui devait être plaidée et jugée en allemand au tribunal fédéral. Schlemmer

accepta la mission très honorable qui lui était offerte et contribua, pour une large part, aux opérations de l'expertise et à la rédaction du rapport.

Cette même année 1884, il avait été nommé membre du Conseil d'administration de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, et était entré dans le Comité des Constructions et Beaux-Arts. Un des membres du même Comité, M. Huet, Inspecteur général, attaché autrefois, comme Schlemmer, à la construction du chemin de fer de Genève, a lu le 24 mars dernier, en Séance publique, une notice très intéressante et très bien faite sur le passage à la Société d'Encouragement du collègue qui venait de lui être enlevé, et dont la mort a excité d'unanimes regrets. Bornons-nous à dire ici qu'à plusieurs reprises il donna lecture au Conseil de rapports justement remarqués. Citons, entre autres, son rapport sur le montage des fermes de la Galerie des Machines à l'Exposition de 1889 par la Compagnie Fives-Lille; celui où il donna la description du bouclier Berlier, appliqué au percement des galeries souterraines, et ses notices biographiques sur d'anciens collègues, l'une sur M. Baude, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, membre du Comité des Arts mécaniques, l'autre sur M. Thirion, membre de la Commission des Fonds, son ancien Ingénieur en chef sur la ligne de Lyon à Genève.

Nous avons vu tout à l'heure que Schlemmer avait pris sa retraite le 11 janvier 1885. Le 19 mars suivant, le Conseil d'Administration de la Compagnie du chemin de fer de Bône à Guelma le nommait à l'unanimité administrateur. Une fois dans le Conseil, il devint bien vite membre du Comité de Direction. C'était prendre un rôle laborieux et actif dans ses fonctions nouvelles. S'y consacrant sans réserve, il satisfit à toutes leurs exigences, jusqu'à faire à deux reprises, en 1886 et en 1895, des voyages d'Inspection sur le réseau concédé, qui s'étend de l'Algérie à la

Tunisie, et rayonne aujourd'hui sur une notable portion de la Régence.

Le 14 novembre 1885, il recevait un avis du Président du Tribunal de 1re instance de la Seine : il venait d'être porté sur la liste des experts. Aussitôt commençait pour lui une série presque continue d'expertises, dans des procès presque toujours importants. L'expertise du Saint-Gothard lui avait donné, pour ainsi dire, l'avant-goût de ces sortes d'affaires.

Le 2 juillet 1890, il fut nommé administrateur de la *Société anonyme d'Éclairage et de Force par l'Électricité*. Le même jour, il devenait président du Conseil d'Administration de cette société.

On voit que Schlemmer a utilisé de plus d'une manière les loisirs que lui laissait la retraite. Jouissant d'une belle santé qui semblait se fortifier avec l'âge, il avait conservé une activité surprenante et paraissait ne pas craindre la fatigue. Ses occupations si multiples lui laissaient encore quelques moments perdus, que la lecture venait occuper. C'est en mettant à profit les intervalles entre ses obligations successives qu'il a réussi dans ses dernières années à composer, en collaboration avec son gendre, M. Henri Bonneau, Ingénieur en chef, chef de l'exploitation adjoint des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée, le bel ouvrage intitulé :

Recueil de documents relatifs à l'histoire parlementaire des chemins de fer français. Principaux discours aux Chambres. Exposé des motifs des projets de lois. Rapports, etc. — Paris, Vve Dunod, 1898.

L'ouvrage forme un volume in-quarto de 700 pages ; ce n'est rien moins que l'histoire documentaire des chemins de fer français pendant le premier demi-siècle de leur existence, depuis les débuts de 1833 jusqu'aux Conventions de 1883. Tous ceux qui s'intéressent à la question des voies ferrées ont apprécié à sa juste valeur l'œuvre

produite et admiré la somme de travail qu'elle avait exigée des auteurs. Aujourd'hui le livre de MM. Schlemmer et Bonneau est répandu partout. On le trouve notamment sur la table des Directeurs des Compagnies, « à portée de leur main », comme l'un d'eux l'écrivait à celui qui déjà ne pouvait plus le lire.

L'accueil fait à cet ouvrage aurait vivement flatté Schlemmer ; mais il ne put entendre que les premiers accords d'un concert de louanges auquel il aurait été très sensible. La distribution des volumes s'est faite pendant la maladie qui devait l'emporter. Il s'est endormi au milieu d'un dernier succès.

V

L'automne de 1898 a été très beau en France ; cette circonstance a fait ajourner le retour à Paris pour beaucoup de familles. Schlemmer était resté dans son *Pavillon* de Montigny-sur-Loing bien au-delà de l'époque habituelle de sa rentrée en ville. Vers le milieu d'octobre, à la suite d'un refroidissement accidentel, il fut atteint de pneumonie. La maladie suivit d'abord un cours régulier, avec alternatives d'apaisement et de recrudescence. Le malade avait encore une force remarquable, et son tempérament faisait présager une issue favorable. Le mieux était assez sensible au commencement de novembre pour qu'on annonçât la convalescence comme prochaine. Cet espoir n'a pas tardé à s'évanouir. Des rechutes se sont produites, la fièvre a repris plus intense et plus continue, et les forces du malade n'ont servi qu'à prolonger son agonie. Il s'est éteint le mercredi 30 novembre 1898, à cinq heures du matin. Il allait avoir soixante-dix-neuf ans.

« La vie de l'homme est bornée à soixante-dix ans, et à quatre-vingts pour les plus robustes. » Peu nombreux

sont ceux qui dépassent la limite la plus élevée. Schlemmer en a approché sans l'atteindre. Homme du devoir, homme de conscience, la mort l'a trouvé « ceint et prêt à comparaître ». Il l'a attendue sans la craindre, « avec la résignation du philosophe et du chrétien ».

Le cimetière de Montigny, où il dort son dernier sommeil, est à la lisière de la forêt de Fontainebleau, entouré de beaux arbres, dans un site admirable qui respire la paix. C'est là que, le 2 décembre, il a été conduit à sa dernière demeure par sa famille tout entière, par de nombreux amis. Aucune convocation officielle n'avait été envoyée pour cette cérémonie tout intime ; aussi point de députation du Corps des Ponts et Chaussées, point d'honneurs militaires (*). M. Alfred Mézières, de l'Académie française, a retracé en quelques paroles émues les grands traits de la carrière et les éminentes qualités de l'ami qu'il avait perdu.

Dans la biographie trop sommaire que nous venons de consacrer à sa mémoire, nous avons cherché à montrer en Schlemmer l'ingénieur, l'administrateur, l'auteur d'ouvrages estimés. Combien de traits devraient être ajoutés à notre esquisse, s'il avait fallu caractériser l'homme lui-même considéré dans sa riche nature ! Schlemmer était très bien doué à tous les points de vue : arts, sciences, lettres, philosophie, il goûtait tout ce qui était bon, tout ce qui était beau. Aussi sa vie a-t-elle été heureuse. Homme du monde, il a connu les succès des salons ; fonctionnaire, il a fourni une carrière honorable et bien remplie. Mais c'est surtout dans sa famille qu'il fallait le voir, près de ceux qu'il aimait et dont il était fier, près de sa femme et de ses enfants, de ses huit petits-enfants bien-aimés.

(*) Le corps des Ponts et Chaussées a pourtant été virtuellement représenté par le Ministre des Travaux publics, M. Camille Krantz, accouru de Paris pour suivre jusqu'au bout le convoi de l'*Oncle Georges*.

C'est là qu'on aurait pu admirer cette belle vieillesse patriarcale, éclairée par sa bienveillance et son enjouement, entourée de l'affection respecteuse de tous. Pour nous, qui l'avons vu de si près, qui l'avons suivi de si longue date, c'est dans ce cadre que nous aimons à replacer par la pensée l'excellent frère, le compagnon sûr et fidèle des heures de joie comme des heures d'épreuve, qui manque tant aujourd'hui à notre vieille amitié.

Paris, le 15 avril 1899.

N° 3

PAROLES

PRONONCÉES LE 10 MAI 1899,

AUX FUNÉRAILLES DE

M. PAUL RABEL,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,
DIRECTEUR DU PERSONNEL ET DE LA COMPTABILITÉ.

1° Par le baron QUINETTE DE ROCHEMONT,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État,
Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines.

Messieurs,

Je viens, au nom de l'Administration des Travaux publics et du Corps des Ponts et Chaussées, adresser un dernier hommage à notre cher camarade, Paul Rabel, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du Personnel et de la Comptabilité.

Rabel, né à Landreville (Aube), le 11 novembre 1848. fit de brillantes études au lycée Napoléon ; il obtint notamment le second prix de mathématiques au Concours général dans la classe de spéciales. Entré le dixième à l'École Polytechnique, en 1868, il en sortit, deux ans plus tard, Élève-Ingénieur des Ponts et Chaussées.

La guerre venait d'éclater ; Rabel, l'un des premiers, se mit à la disposition du Gouvernement de la Défense nationale. Il fut attaché, à Tours et à Bordeaux, à la personne du Délégué à la Guerre, M. de Freycinet,

et chargé de centraliser les renseignements concernant les mouvements des armées. Dans cette mission, toute de confiance, il montra le plus grand dévouement et fit preuve, en toutes circonstances, de zèle, d'activité et d'intelligence; aussi les services qu'il rendit furent-ils importants et le signalèrent-ils d'une manière toute particulière à l'attention de ses chefs.

M. de Freycinet qui, plus que personne, avait alors si grandement apprécié les qualités et la valeur personnelle de Rabel, n'a cessé, depuis, de témoigner à notre camarade l'estime en laquelle il le tenait, la valeur qu'il attachait à ses services et à sa collaboration, et il lui a donné, en toutes circonstances, des preuves d'affectueuse sympathie. Il lui en donne aujourd'hui une nouvelle en accompagnant son fils dans la triste cérémonie qui nous réunit.

Lorsque la paix fut rétablie, Rabel entra à l'École des Ponts et Chaussées dont il suivit les cours de 1871 à 1874; comme Élève-Ingénieur, il fut successivement envoyé en mission pour apprendre la pratique du métier, dans les départements de l'Aube, de la Savoie et de la Gironde.

Nommé Ingénieur ordinaire de 3e classe, le 18 juin 1874, il fut attaché, à la résidence de Montauban, au service ordinaire du département de Tarn-et-Garonne et, successivement, à la navigation du Tarn et à celle de la Garonne.

Lors des inondations qui, en 1875, désolèrent plusieurs départements du Midi, Rabel fit preuve de dévouement et tint une conduite courageuse qui lui valut une lettre de félicitations du Ministre des Travaux publics (26 août 1875).

Dans cette circonstance, il fit face à une situation exceptionnellement chargée et difficile; il suffit à tout, rédigea tous les projets, exécuta les travaux, s'entendit avec les intéressés et mena tout à bien sans froissements ni embarras.

Rabel ne réussit pas moins dans l'arrondissement de

Nogent-sur-Seine où, à dater du 1er avril 1876, il fut chargé du service ordinaire et de celui de la navigation de la Seine. « Ce jeune Ingénieur », est-il dit dans sa note signalétique, « a un caractère des plus honorables, à la « fois sérieux et conciliant. Il sait commander et inspirer « confiance à ses subordonnés ; il entend aussi bien le « service actif des travaux et les opérations extérieures « que la conduite des affaires de bureau ; soit par son « travail et son intelligence, soit par sa tenue et ses « bonnes relations, il fait, de tous points, honneur au « Corps des Ponts et Chaussées. Il a réellement tout « pour lui et doit fournir une brillante carrière. »

Ces pronostics ne tardèrent pas à se réaliser.

Lorsqu'au 13 décembre 1877 M. de Freycinet devint Ministre des Travaux publics, il attacha Rabel à son cabinet ; puis, peu après, il lui confia successivement les fonctions de chef du secrétariat particulier, de chef-adjoint et de chef du cabinet (1er mai 1879). Il le nomma également Ingénieur ordinaire de 2e classe (1er février 1878) et chevalier de la Légion d'honneur (8 avril 1879).

Dans ces fonctions, Rabel rendit de tels services que M. de Freycinet, devenu Président du Conseil et Ministre des Affaires Étrangères, le conserva comme chef de cabinet et le nomma, en outre, chef du secrétariat de la Présidence du Conseil. Il occupa ces fonctions à deux reprises différentes, du 1er janvier au 23 septembre 1880 et du 31 janvier au 9 août 1882. Dans l'intervalle il dut prendre un congé pour soigner sa santé ébranlée par un excès de travail.

Au Ministère des Affaires Étrangères, Rabel prit une part active à la réorganisation de l'Administration centrale et du Service diplomatique, ainsi qu'à l'organisation administrative de la Tunisie, et il intervint dans les travaux préparatoires de la Conférence de Berlin pour la rectification de la frontière turque.

Rabel, qui avait été promu officier de la Légion d'honneur le 5 octobre 1880 et Ingénieur ordinaire de 1re classe le 1er février 1882, rentra dans l'Administration des Ponts et Chaussées, le 1er septembre 1882, époque à laquelle il fut chargé de l'arrondissement de Saint-Denis et de la première section du Contrôle du chemin de fer du Nord.

Dans ce service, où les affaires sont nombreuses et difficiles, où les relations incessantes avec les autorités et le public ne laissent souvent pas d'être délicates, Rabel se fit rapidement apprécier de tous. Ses chefs, rendant à nouveau hommage à ses qualités, signalaient sa grande expérience du maniement des affaires publiques dont ils appréciaient journellement les heureux effets et lui prédisaient encore le plus bel avenir. « C'est d'ailleurs », disaient-ils, « avec le zèle le plus soutenu que M. Rabel « se consacre à ses devoirs actuels et notamment à ceux « qui concernent l'étude et la pratique des travaux »; — et ils se félicitaient hautement de posséder un tel collaborateur.

Au moment où il venait d'être nommé Ingénieur en chef de 2e classe (1er juillet 1886), Rabel fut appelé par M. de Freycinet, une troisième fois, au Ministère des Affaires Étrangères pour remplir les fonctions de directeur du cabinet et du secrétariat de la Présidence du Conseil. Durant les quelques mois qu'il passa alors au quai d'Orsay, il prit part à l'organisation des pays de protectorat, aux négociations relatives aux affaires du Tonkin, du Congo, des Nouvelles-Hébrides et de Madagascar.

A la chute du Ministère, Rabel prit, comme Ingénieur en chef, la direction de la 2e section de la navigation de la Seine et fit exécuter, en cette qualité, d'importants travaux dans la traversée de Paris. Avec l'aide de collaborateurs dévoués et distingués, il commença la transformation des ports de tirage en ports droits et construisit, notamment, les ports Saint-Nicolas et de la Râpée, à

Bercy ; il exécuta l'élargissement du pont d'Austerlitz, la consolidation du Pont-Neuf, la réfection du pont d'Arcole, dirigea la construction du pont Mirabeau et les premières études de l'avant-projet du pont Alexandre III.

Là encore, Rabel fit œuvre d'Ingénieur en chef très intelligent, très instruit et tout dévoué à ses devoirs, et preuve d'une grande expérience des affaires, comme le constatait l'Inspecteur général sous les ordres duquel il se trouvait alors.

Il venait d'être nommé Ingénieur en chef de 1re classe lorsqu'il fut appelé à la Direction du Personnel et de la Comptabilité au Ministère des Travaux publics (10 août 1896). Pendant près de trois ans, il a occupé avec la plus grande distinction et le plus grand succès ces importantes et délicates fonctions.

De relations faciles et agréables avec tous, particulièrement bienveillantes avec ses subordonnés, d'un caractère tout à la fois souple et énergique, d'une grande habileté, plein de ressources, d'un jugement prompt et sûr, ayant acquis, dans les situations exceptionnelles qu'il avait occupées, une grande expérience des hommes et des choses, travailleur infatigable et profondément consciencieux, Rabel se préoccupait, toujours et en tout, du bien du service ; aussi avait-il peu à peu acquis une grande autorité.

Durant sa Direction, il s'occupa activement de la simplification des formalités administratives et de la décentralisation. C'est à lui qu'échut l'honneur d'assurer la réalisation d'une importante partie des améliorations apportées récemment au sort des Conducteurs des Ponts et Chaussées, des Contrôleurs des Mines et du personnel inférieur : augmentation du taux des retraites, accroissement des traitements, etc. Ces mesures répondaient bien aux tendances de sa nature libérale et bienveillante ; il apporta toute son ardeur à leur donner le maximum d'efficacité.

Rabel semblait devoir occuper longtemps encore les fonctions de Directeur du Personnel et de la Comptabilité, qu'il remplissait si bien, lorsqu'il a été enlevé presque subitement.

Chargé d'assurer la marche de tous les services du Ministère pendant l'absence du Ministre et des deux autres Directeurs, il a tenu à honneur, quoique souffrant, de le faire jusqu'à leur retour. Ce n'est qu'à ce moment qu'il a consenti à se soigner; mais, déjà profondément atteint, il s'est alors alité pour ne plus se relever. Rabel a été ainsi victime de son ardeur au travail et de son désir de bien faire.

C'est sur son lit de mort qu'il a appris sa nomination au grade d'Inspecteur général des Ponts et Chaussées, nomination qui était la juste récompense de ses grands et remarquables services et le digne couronnement d'une carrière déjà longue.

Rabel sera regretté de tous ceux qui l'ont connu; il avait de la franchise et grand cœur. La mort cruelle est venue briser toutes les espérances d'une fin de carrière heureuse et plonger dans l'affliction une femme et un fils tendrement aimés.

Puisse l'expression de notre douloureuse sympathie contribuer à adoucir l'amertume de leur chagrin et apporter quelque adoucissement à leur légitime douleur.

2° Par M. GUILLAIN, député, Ministre des Colonies.

Messieurs,

C'est au nom des amis de Rabel que je viens ici rendre un suprême hommage à sa mémoire et dire ce que nous pensons tous des qualités de son cœur.

Le Représentant du Ministère des Travaux publics et du Corps des Ponts et Chaussées vient de vous retracer ce que fut la carrière administrative de notre ami, sa haute intelligence, sa grande valeur professionnelle, les services éminents qu'il a rendus au pays. Je puis mieux que personne m'associer à ces éloges mérités, moi dont Rabel fut le collaborateur ou le collègue dévoué pendant tant d'années. Mais quelque haute estime que nous ayons eu tous pour les mérites de l'Ingénieur et de l'Administrateur, nous attachions plus de prix aux qualités de son caractère, à sa droiture parfaite, à sa parfaite bonté. Tous ceux qui l'ont connu l'aimaient pour cette loyauté absolue qui rendait son commerce si complètement sûr, pour cette courtoisie si délicate qui donnait tant de charme à ses relations, pour cette bienveillance éclairée qui ne fut jamais banale, à laquelle s'alliait une grande fermeté, mais qui savait toujours adoucir et faire accepter sans amertume les mesures que lui dictait son profond sentiment du devoir. Ce sont ces rares qualités qui lui donnaient une autorité personnelle toujours grandissante, plus encore que le pouvoir attaché à ses fonctions.

Tel nous l'avons connu dans son cabinet de Directeur, bienveillant et souriant au milieu des préoccupations les plus graves, tel nous le retrouvions dans cette maison si accueillante où ses camarades et ses amis étaient heureux de se sentir constamment entourés des attentions les plus délicates de l'amitié.

Le prix de ce charmant accueil de notre ami était doublé par la grâce de cette compagne dévouée qui lui fut, en tout et toujours, unie par une inaltérable affection et par une intime communion de pensée.

Cruellement éprouvés jadis par des douleurs communes, M. et M[me] Rabel n'avaient pu trouver la force de les supporter que dans leur tendresse et dans leur commun dévouement au fils sur qui seul se concentraient désormais

toutes leurs préoccupations. Celle dont notre ami était toute la vie et tout le bonheur reste aujourd'hui brisée. Nous partageons sa profonde douleur, nous pleurons avec elle l'ami que nous avons perdu. Pour guider son fils vers un avenir que notre ami a eu la joie suprême de pouvoir pressentir, elle sera seule maintenant; qu'elle permette cependant à ses amis fidèles, en souvenir de celui qu'ils ont tant aimé, de lui apporter dans cette tâche le concours de leur dévouement respectueux et de leur inaltérable amitié.

3° Par M. VALLÉ, Sénateur, Président du Conseil général de la Marne.

Messieurs,

La vie de Paul Rabel vient d'être retracée comme il convenait qu'elle le fût par les plus hautes personnalités de notre pays.

J'apporte ici simplement, mais sous le coup d'une poignante émotion, le respectueux hommage de l'Assemblée départementale dont il faisait partie, et le dernier adieu d'un ami.

Elles étaient bien modestes, ses fonctions de Conseiller général, à côté des titres et des distinctions qu'on énumérait tout à l'heure, et cependant, si modestes fussent-elles, il les aimait et les remplissait, en homme de devoir, avec le soin le plus scrupuleux.

Combien de fois m'a-t-il conté son bonheur de se trouver au milieu de nous.

Il l'expliquait à sa manière, en disant que nos sessions lui faisaient un repos au milieu de ses multiples et exigeantes occupations.

Mais il savait bien aussi que ce bonheur était fait des chaudes affections qu'il rencontrait autour de lui, et que lui avaient attirées, en même temps que son excellente nature, la complaisance aimable et discrète avec laquelle il mettait à la disposition de chacun de nous sa large compétence, son bon jugement, son profond savoir.

Ce n'était pas seulement au Conseil général qu'il aimait à rendre service ; le canton d'Anglure dont il était l'élu fut aussi rempli de ses bienfaits, si précieux qu'ils s'imposèrent à la reconnaissance de tous.

Il en reçut, du reste, le plus éclatant et le plus élogieux témoignage.

Le mandat de Conseiller général, qu'il avait volontairement abandonné en 1895, étant devenu libre l'année suivante, tous les maires du canton, à quelque parti qu'ils appartinssent et quoique sachant que Rabel était inébranlable dans sa foi républicaine, signèrent spontanément une adresse, le suppliant d'être à nouveau leur représentant.

Il dut céder à d'aussi flatteuses sollicitations, aussi son élection ne fut-elle autre chose qu'une acclamation unanime.

Nous eûmes ainsi la satisfaction de le retrouver, bien que personne ne l'eût oublié, tant il avait fait impression sur notre Assemblée.

Sa mort, si imprévue, va creuser un vide dans nos rangs; elle en fait un plus grand dans nos cœurs.

A la tristesse qui nous envahit, nous comprenons l'immense douleur des siens, et si nous sommes, hélas ! impuissants à les consoler, au moins pouvons-nous leur donner l'assurance que nous resterons fidèles à la mémoire du collègue éminent, du bon camarade, sur lequel nous pleurons ensemble aujourd'hui.

4° Par M. COLSON,
Conseiller d'État, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (*).

Messieurs,

Au nom des amis les plus proches du camarade excellent que nous pleurons, je viens lui dire un dernier adieu. Des voix plus autorisées ont dit ce matin ce qu'il fut, comme homme public et comme homme privé ; qu'il me soit permis d'exprimer l'affection profonde qu'il inspirait à ceux qui ont vécu près de lui.

C'est sous ses ordres que j'ai débuté, il y a vingt ans, dans les fonctions publiques, et j'ai trouvé en lui l'ami le plus dévoué et le guide le plus sûr. Appelé, tout jeune encore, à diriger le cabinet du Ministre des Travaux publics dans une période de fiévreuse activité, il avait montré ce qu'il valait : un jugement rapide et droit, une plume facile autant qu'élégante, un accueil toujours aimable, un tact parfait dans les relations délicates que comporte cette situation, l'avaient fait hautement apprécier. Aussi l'éminent homme d'État qui l'avait choisi comme collaborateur ne voulut-il pas se séparer de lui, le jour où il fut appelé à la Présidence du Conseil et aux Affaires Étrangères. Chargé de fonctions toutes nouvelles, dans un milieu si différent de celui qu'il quittait, Rabel ne s'y distingua pas moins, et, si l'ambition eût dirigé sa vie, il ne tenait qu'à lui de suivre la brillante carrière où un avenir exceptionnel lui était assuré par la haute situation qu'il occupait déjà.

Il préféra, revenir au milieu de nous. Rentré dans le

(*) Ce discours a été prononcé sur la tombe de M. Rabel, au cimetière de Troyes (Aube).

service ordinaire des Ponts et Chaussées, il se montra ingénieur distingué et Chef de service éminent, sachant, sans presque avoir l'air d'intervenir, donner en toute occasion à ses collaborateurs la direction la plus sûre. Moins absorbé alors par ses fonctions, il donnait à la famille et à l'amitié une plus grande part de son temps. Cruellement éprouvé par la perte de plusieurs enfants, il s'était renfermé un temps dans une étroite intimité. Puis, le cercle élargi des sympathies qu'attirait son caractère avait fait de sa maison le centre des relations des nombreux amis qu'il comptait parmi nous.

Le jour où de nouveau il fut appelé à de hautes et délicates fonctions, le dirai-je ? quelques-uns se demandaient si tant de bienveillance et de si nombreuses amitiés ne lui rendraient pas difficiles la fermeté et l'impartialité indispensables à un Directeur du Personnel. L'expérience montra bien vite que toute crainte eût été vaine. Par un rare assemblage de qualités, il sut concilier les sentiments de son cœur et les devoirs de sa situation. Pensant toujours à être agréable, recherchant les occasions de satisfaire les désirs de ses amis, il a su les faire naitre et faire de nous tous ses obligés, sans qu'on puisse citer un passe-droit commis par lui. Sous des apparences de facilité, il savait aussi garder une réelle fermeté pour les répressions nécessaires ou pour la défense des intérêts publics et du personnel de tout ordre qui lui étaient confiés.

Le dur labeur qui lui incombait ne l'empêchait pas de trouver quelques moments à consacrer à ses amis, qui étaient aussi ceux de tous les siens. Il y a quelques jours encore, il était le lien de nos réunions, le plus jeune de tous par l'entrain et la gaieté. Aujourd'hui il nous quitte le premier, et parmi les regrets dont tantôt l'expression unanime n'était pas certes le banal témoignage de sympathie qui accompagne tous les deuils, je viens apporter

le douloureux souvenir de ceux qui furent les amis de Rabel dans la joie et dans le chagrin, qui trouvèrent auprès de sa famille comme auprès de lui non seulement l'accueil le plus gracieux, mais la bonté la plus solide et l'affection la plus fidèle, et qui s'associent aujourd'hui à un inconsolable désespoir.

N° 4

THÉORIE ET APPLICATIONS NOUVELLES DU CIMENT ARMÉ

Par M. HAREL DE LA NOË, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Bien que la présente note ait pour objet spécial l'exposé succinct des progrès que nous avons réalisés dans la théorie et la pratique du sidéro-ciment, nous croyons utile de faire connaître d'abord les circonstances qui nous ont engagé dans cette voie nouvelle.

Le nouveau réseau de chemins de fer d'intérêt local, construit dans la Sarthe en 1896 et 1897, a été établi dans des conditions d'économie dont on ne trouverait nulle part aucun exemple. Composé de lignes productives dont l'exploitation donne des bénéfices même au département et à l'État, destiné à un trafic produisant une recette kilométrique moyenne de 3.500 francs environ, il est établi en pays accidenté et dans une région riche où les terrains ont de la valeur. Le maximum des déclivités, fixé à 25 millièmes, est rarement atteint ; les rayons des courbes ne descendent qu'exceptionnellement au-dessous de 300 mètres ; les terrassements ont été considérables, et atteignent en moyenne $5^{m3},25$ par mètre linéaire (chiffre élevé pour la voie étroite). Cependant la dépense kilométrique a été inférieure à 40.000 francs.

La décomposition de cette dépense est instructive :

Les terrains ont coûté 4.919 francs ; les terrassements et les ouvrages d'art ordinaires, 6.052 francs ; la voie, 12.262 francs ; le matériel roulant, 6.300 francs. Le total des dépenses réellement imputables aux chemins de fer est donc de 29.534 francs seulement par kilomètre.

L'excédent des ressources (environ 10.000 francs par kilomètre) a été affecté à la construction d'une gare monumentale au centre de la ville du Mans, et à l'établissement d'un grand nombre de ponts et viaducs très importants, qui reçoivent simultanément la voie ferrée et une voie routière. On ne trouverait certainement rien d'analogue sur aucun autre réseau du même ordre ; il s'agit donc bien de dépenses ayant un caractère exceptionnel, et ainsi ce n'est pas le chiffre de 40.000 francs, mais bien celui de 29.534 francs qui doit être comparé au capital de premier établissement des autres réseaux.

Tous ces travaux ont été exécutés dans des conditions d'extrême économie. On se fera une idée des efforts tentés et des résultats obtenus dans ce sens, par la comparaison suivante : Dans la Sarthe, la dépense des grands ponts construits avant 1895, rapportée au mètre carré de tablier, varie entre 288 francs et 227 francs. Elle varie peu avec les époques et les procédés, le maximum de 288 étant relatif à un pont en maçonnerie achevé en 1808, et le minimum de 227 à une travée suspendue (il s'agit de la travée seule, sans les culées), refaite par M. Arnodin en 1897. Or, pour les grands ponts construits par le département depuis 1895, le maximum de la dépense est de 81 francs, et le minimum de 40 francs. Ces chiffres ne comprennent pas la dépense de fondation, pour laquelle les résultats de la comparaison seraient à peu près les mêmes.

Ces résultats ont été obtenus par l'usage progressif d'un système de construction qui a déjà reçu de nombreuses applications industrielles, mais que nous avons appliqué le

premier en France aux grands ouvrages sous voies ferrées. Quand nous avons commencé à introduire le sidéro-ciment dans nos projets, l'emploi de cette matière appartenait encore au domaine de l'empirisme ; on constatait des faits remarquables, mais qui paraissaient contraires à toutes les idées reçues dans la Résistance des matériaux et la science de l'élasticité. Quelques essais théoriques, basés sur l'application des formules ordinaires de la déformation, étaient impuissants à donner une explication rationnelle des faits observés. Dans ces conditions, nous avons dû procéder avec la plus grande prudence ; nous avons d'abord réservé l'emploi du ciment armé à certaines pièces dont la ruine n'eût pas entraîné de mécompte grave ; nous avons ensuite employé le métal sous une forme qui lui assurait, sans le concours du ciment, une résistance suffisante pour empêcher une rupture brusque de la pièce. La constance du succès, le caractère rassurant et instructif des observations, le progrès des idées théoriques que nous commencions à concevoir, nous ont conduit à appliquer franchement dans les petits ouvrages les notions nouvelles. Enfin sont venues des applications très importantes : 1° l'exécution des planchers de ponts ou de viaducs en béton de ciment armé de vieux rails a relégué les fers neufs dans les pièces maîtresses, et réduit de plus de moitié la dépense des ponts métalliques ; 2° la construction, au Mans, d'un grand ouvrage destiné à deux voies ferrées, dont l'une à traction électrique, nous a fourni l'occasion de montrer par un exemple décisif ce qu'on peut attendre du nouveau système. Dans ce pont, qui par la nouveauté des formes et de la décoration, a immédiatement attiré l'attention de la presse, qui a fait l'objet de nombreuses publications dans les principales revues, et qui a ainsi acquis une célébrité rapide sous le nom populaire de « Pont en X », le sidéro-ciment a été appliqué avec le plus grand succès : aux planchers rigides

couronnant les pilotis des fondations ; aux piles réduites à des fûts cylindriques de 1 mètre de diamètre ; aux potences qui les couronnent et soutiennent les pièces maîtresses du tablier placées en encorbellement ; aux semelles comprimées des poutres principales ; aux entretoises, aux garde-corps et au plancher.

Cet ouvrage, qui a une longueur de 125 mètres et une largeur de 4 mètres, n'a coûté (fondations comprises) que 30.000 francs, soit 60 francs par mètre carré, alors qu'un pont-route moderne, situé à quelques mètres en amont, achevé en 1884, est revenu à 392 francs par mètre superficiel. Il est supérieur aux types métalliques à tous les points de vue ; il est extrêmement rigide, vibre peu au passage des surcharges ; il n'est nullement sonore et échappe ainsi à une critique justement dirigée contre les viaducs en fer, construits au milieu des grandes agglomérations. Enfin l'une de ses branches a déjà livré passage à 70.000 trains, sans qu'on y ait constaté la moindre détérioration, et après une telle répétition des effets qui serait à peine atteinte au bout de trente ans pour un grand nombre d'ouvrages sous rails, on peut considérer l'expérience comme décisive.

Le 12 octobre 1898, Monsieur le Directeur des Routes et de la Navigation nous a prié de déférer à une demande émanant de l'Administration belge des Travaux publics, et tendant à obtenir communication des dessins et calculs constituant le projet du pont en X. La note que nous avons immédiatement rédigée et livrée à l'impression a été adressée en brochure au Ministère, le 14 décembre. Analysée dans plusieurs revues, publiée *in extenso* dans le numéro de février 1899 de la *Revue technique des Chemins de fer et de l'Industrie*, elle contient l'énonciation des principes fondamentaux de notre théorie du ciment armé. Cédant à des conseils autorisés, nous en résumons ci-après la partie théorique, en y ajoutant l'énoncé des

propriétés principales dont la démonstration fera l'objet de communications ultérieures.

L'objection capitale, dirigée contre le sidéro-ciment, se résume ainsi : le ciment rompt, à la traction, pour un allongement relatif qui dépasse rarement $\frac{1}{10^4}$, et qui est probablement plus faible pour les bétons. Cet allongement correspond pour le fer à un travail de 2 kilogrammes par millimètre carré. Or le ciment, dans les parties voisines des armatures métalliques, doit suivre exactement les déformations de celles-ci, à moins qu'il ne glisse contre le métal. Il subit donc des allongements qui peuvent être vingt fois supérieurs à l'allongement de rupture quand il est isolé.

Si le fait ne se produit qu'une fois, on conçoit que le ciment puisse se prêter à des déformations de ce genre ; il s'agit alors d'un véritable étirage. Ce qui se comprend moins, c'est que, placé dans des conditions si défectueuses, il résiste bien à la répétition des efforts. Tels sont les faits, qu'il faut d'abord expliquer.

Et d'abord, il n'existe aucun doute sur l'aptitude du ciment et des bétons à subir l'étirage primitif. Nous avons annoncé clairement ce fait, dans notre mémoire de 1898, et nous l'avons déduit, en toute rigueur, d'expériences à la flexion, exécutées à l'usine d'Asnières (Coignet) et relatées dans le numéro 10 (2ᵉ année) du journal *le Ciment*. Nous savons combien l'interprétation des expériences de ce genre est difficile ; combien il est aisé de s'y tromper ; et, dans le cours de cette note, nous aurons l'occasion d'apporter une preuve nouvelle à l'appui de cette opinion. Mais, dans l'espèce, il n'y avait aucun doute : des prismes en ciment armé de dimensions et de composition connues ont fléchi sous l'action d'un levier jusqu'à ce qu'une première fente ait tranché les fibres travaillant à l'extension. Aucune erreur sensible n'était

possible, sur la détermination de la force. L'existence de la fente avait supprimé presque complètement le concours des tensions du ciment dans le moment fléchissant, en ne laissant intactes que les fibres rapprochées de l'axe neutre qui sont peu tendues, et qui, du reste, agissent avec un bras de levier très faible. Nous avons démontré rigoureusement que le travail du fer était probablement de 33 kilogrammes, et certainement supérieur à 31 kilogrammes par millimètre carré, au moment où la première fente est apparue. Ainsi le ciment avait subi à ce moment un allongement, approchant de deux millièmes, et avait été impunément associé à une déformation qui, dans des fers ronds du commerce, doit être réputée énorme, et certainement supérieure à la limite d'élasticité, telle que la montrent les expériences dites de traction simple.

Le 12 décembre 1898, M. Considère adressait à l'Académie des Sciences une communication importante, qui figure au compte rendu du 12 décembre, et qui confirme entièrement ce fait. Ce savant éminent, opérant sur des prismes fléchissants, avait vu se produire, dans les parties tendues du mortier, un allongement de deux millièmes, sans fente et sans rupture. Il va sans dire que M. Considère ignorait nos recherches, comme nous ignorions les siennes; c'est seulement après sa première communication à l'Institut qu'il a connu notre note de 1898.

Il est nécessaire de parler ici d'expériences récentes, faites à l'École des Ponts et Chaussées, par M. de Joly, et décrites dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (3e trimestre 1898); elles semblent en effet avoir donné des résultats contraires à nos idées. Sans méconnaître en aucune façon l'intérêt que présentent les expériences précitées, notamment en ce qui concerne l'étude de l'élasticité des ciments et celle des scellements, nous devons dire que les conclusions relatives à l'influence des armatures sont erronées. Elles constitueraient une

condamnation formelle du sidéro-ciment. Or celui-ci a fait ses preuves, et il est facile de montrer que les résultats obtenus sont uniquement dus aux conditions mêmes des expériences.

En réalité, les éprouvettes de M. de Joly ont rompu par flexion. Les armatures y étaient placées dans les axes des prismes, de telle sorte qu'elles n'apportaient au ciment aucun concours contre le moindre moment fléchissant. Or les pièces étaient exposées à fléchir, soit en raison d'inégalités dans les tractions des mordaches, soit en raison du défaut d'homogénéité du ciment. M. de Joly a vu ces flexions, et il en parle deux fois dans son mémoire.

Si les armatures avaient été disposées aux quatre angles du prisme, et si les mordaches avaient agi sur des têtes plus solides, les résultats eussent été tout différents. Les éprouvettes, n'ayant pas un moment résistant suffisant, ont péri dans des circonstances analogues à la flexion de bout en bout.

Et ainsi, nonobstant ces expériences, il n'existe aucun doute sur l'aptitude du ciment à subir un étirage considérable.

Cette propriété est fondamentale; mais elle ne suffirait pas à expliquer la résistance à la répétition indéfinie des effets. Elle est complétée par les propositions suivantes, qui sont certainement curieuses et inattendues, et qui se trouvent établies dans notre mémoire précité.

Si une poutre fléchissante en sidéro-ciment a subi une fois, par l'application d'un système quelconque de forces, une déformation permanente dans les parties tendues du ciment, la répétition du même effet n'y produira ultérieurement que des efforts élastiques.

L'allongement relatif, x, commun à l'armature et au ciment, se décompose en deux parties : la première, β, est l'allongement élastique du ciment, et la seconde, γ, est l'allongement permanent de cette matière. A la fin de la

première épreuve, l'armature tend à reprendre sa longueur primitive. Quand elle a subi un raccourcissement, β, le ciment ne travaille plus ni à l'extension, ni à la compression ; mais, à partir de ce moment, l'armature métallique ne peut plus se raccourcir sans comprimer le ciment, et son mouvement de raccourcissement continue jusqu'à ce que la compression du ciment fasse équilibre à une tension qui subsistera désormais dans l'armature. Cette tension correspond à un allongement relatif, δ, qui persiste aussi dans les périodes de repos de la pièce.

Si les surcharges sont de nouveau appliquées, le ciment se décomprime d'abord d'une quantité $\gamma - \delta$, et, à ce moment, il ne travaillera dans aucun sens; il s'allongera ensuite d'une quantité β, égale à l'allongement élastique maximum dont il est susceptible. A ce moment, l'allongement total de l'armature sera égal à $\gamma + \beta = \alpha$ (valeur atteinte dans la première épreuve), et ainsi l'équilibre de la poutre sera réalisé de nouveau sans que la seconde épreuve ait déterminé, dans le prisme, autre chose que des déformations élastiques. Il en sera de même en cas de répétition indéfinie des mêmes effets.

Ainsi que l'a indiqué notre note de novembre 1898, cette théorie n'est pas rigoureuse. Il n'est pas tout à fait exact de dire que la tension de l'armature, suffisant à l'équilibre dans la première épreuve, y suffira encore dans la seconde, parce que, dans l'intervalle, est survenue une déformation moléculaire qui a modifié le travail du ciment à la traction. En réalité, les premières épreuves déterminent dans la tension de l'armature des augmentations de plus en plus faibles. Il existe une limite de cette tension; elle peut être déterminée, et cette détermination constitue l'un des points délicats, mais très intéressants, de la théorie.

Les tensions qui persistent dans les armatures inférieures des prismes pendant les périodes de repos déter-

minent dans ceux-ci un moment fléchissant qui fait travailler à la traction les fibres supérieures. Celles-ci sont du reste comprimées par le poids mort. Si la compression due à la deuxième cause est plus petite que la tension due à la première, il peut arriver que les fibres supérieures soient tendues pendant les périodes de repos, et que le travail à la traction y soit suffisant pour rompre le ciment. C'est ce qui arrive dans beaucoup de poutres : en général, les fentes se produisent en dessus, c'est-à-dire précisément dans la région où elles paraissaient improbables. On s'y oppose par l'emploi d'armatures supérieures, qui du reste peuvent être très faibles; on trouve dans ce sens l'un des éléments de la solution rationnelle d'une question qui a soulevé de longues controverses entre les praticiens du ciment armé.

D'après ce qui précède, on conçoit nettement qu'il soit possible de régler par un petit nombre d'épreuves une poutre fléchissante, de telle sorte qu'aucune tension ne se développe ultérieurement dans les fibres inférieures du ciment. Il suffit de majorer les surcharges de la première épreuve dans une proportion que nous savons calculer.

De ce qui précède, il résulte clairement que les objections principales dirigées contre l'association du ciment aux allongements des armatures métalliques, ne sont pas fondées. De même, l'opinion généralement répandue, d'après laquelle le travail du fer serait toujours faible dans le sidéro-ciment, constitue une erreur fondamentale. Au contraire, les armatures métalliques enrobées de ciment peuvent subir, sans allongement brusque, des efforts dépassant de beaucoup la limite d'élasticité qui apparaîtrait dans les expériences de traction simple, si ces pièces y étaient soumises isolément.

Ce fait, qui est bien constaté, ne doit nullement surprendre. La déformation d'un prisme soumis à des actions extérieures quelconques est un phénomène extrêmement

complexe, dans lequel les efforts de traction, de compression, de cisaillement et même de flexion se produisent toujours simultanément. Dans une expérience, dite de traction simple, les molécules ne sont pas seulement déformées par allongement dans le sens de l'effort principal. Elles sont comprimées dans le sens transversal et tendent en outre, dans le sens longitudinal, à glisser par cisaillement les unes sur les autres. En un mot, à l'effort principal viennent se joindre des efforts secondaires très importants, mal connus, et qui influent pourtant sur le résultat qui est observé.

Pour préciser, il est facile de voir que, dans un essai de traction simple, l'existence des têtes par lesquelles les mordaches cramponnent le barreau suffit pour troubler le phénomène.

Quel que soit le procédé d'attache employé, on voit clairement que la répartition des efforts dans les sections de l'attache n'est pas la même que dans les sections du barreau. L'effort ne peut pas se transmettre rectilignement; il dévie nécessairement, et cette déviation n'est explicable que par des efforts transversaux considérables. Ces considérations expliquent les déformations singulières qui ont introduit la notion assez imprécise de la limite d'élasticité et de la striction. Elles expliquent aussi que M. Considère, en étudiant la striction, ait constaté que la résistance du métal, dans la section réduite, est très supérieure au chiffre obtenu en divisant l'effort par la section initiale.

Elles montrent enfin que l'on commet communément une erreur de méthode considérable en demandant à des expériences, dites de traction simple, des résultats applicables à la flexion. En réalité, les lois de la flexion doivent être étudiées directement sur des pièces fléchissantes et non par la généralisation de résultats obtenus dans l'étude d'un phénomène différent et fort mal déter-

miné. En opérant ainsi, M. Durand-Claye pour les ciments, M. Considère pour les métaux, ont préparé la ruine d'une erreur qui ne repose, en somme, que sur un vice de méthode et une confusion de mots. Dans l'état actuel de la science, il n'est plus possible d'opposer à des faits constatés dans l'étude directe de la flexion d'autres faits observés dans l'étude de la traction.

L'étude du cisaillement, c'est-à-dire du glissement de deux sections parallèles, l'une par rapport à l'autre, conduit aux propriétés suivantes :

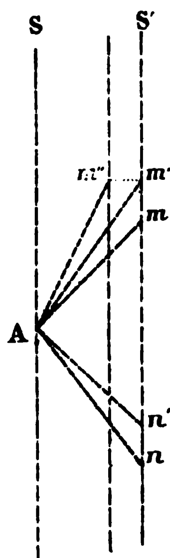


FIG. 1.

Si une section S' d'un corps se déplace d'une quantité $mm' = \varepsilon$ par rapport à une section très voisine et parallèle S, la distance d'un point m quelconque de la section S' au point A de la section S varie pendant la déformation. Elle augmente pour les points tels que m, et diminue pour les points tels que n. Le mouvement relatif développe donc des tensions dans toutes les directions telles que Am et des compressions dans toutes les directions telles que An.

Les projections de toutes ces forces sur le plan de la section S sont dans le même sens, et leur somme donne dans le plan S une résultante qui est l'effort tranchant.

Cette analyse, qui est très simple et qui trouvera place dans nos communications ultérieures, conduit aux relations suivantes, où entrent : le coefficient d'élasticité à la traction E, le coefficient d'élasticité à la compression E', le quotient i du déplacement ε par la distance des sections S et S', le travail au cisaillement c dans la section S, et le travail maximum à la tension R_0 dans la direc-

tion Am où se produit la tension la plus grande :

$$\frac{E + E'}{6}\, i = c, \tag{1}$$

$$\frac{Ei}{2} = R_0. \tag{2}$$

On en déduit par l'élimination de i :

$$c = R_0 \left(\frac{E + E'}{3E}\right), \tag{3}$$

i étant le déplacement relatif d'une section par rapport à l'autre, la première relation montre que, si l'on introduit dans le cisaillement la notion du coefficient d'élasticité e, particulier à cette déformation, on aura :

$$e = \frac{E + E'}{6}. \tag{4}$$

Pour les corps dont l'élasticité est à peu près la même dans les deux sens, ces formules donnent immédiatement des résultats conformes aux données expérimentales. Par exemple, si on suppose $E = E'$ pour le fer, on trouve que le rapport entre les coefficients d'élasticité au cisaillement et à la traction serait 0,33, alors qu'on admet 0,40. Mais rien ne prouve l'égalité de E et de E' pour le fer, et ainsi la concordance entre la théorie et l'expérience est assez satisfaisante.

De même l'équation (3) conduirait à admettre le rapport 0,66 entre la résistance à la rupture par cisaillement et la résistance à la rupture par traction. Ce chiffre diffère assez peu des données admises, qui ne peuvent elles-mêmes prétendre à une précision absolue.

Pour les corps tels que le béton, les efforts de cisaillement dangereux se calculent par la relation (3), en y attribuant à R_0 la valeur de la résistance maxima du béton à la traction. La valeur ainsi obtenue pour C est bien une

valeur-limite qu'on ne peut dépasser sans danger; mais ce n'est pas une valeur de rupture; elle correspond au commencement de la désagrégation de la masse et à la limite d'élasticité au cisaillement. En effet, on sait que le coefficient d'élasticité du béton à la traction est à peu près constant, même pour des efforts approchant de la limite, mais qu'il diminue brusquement en tendant vers O aux approches de la rupture. A ce moment, le coefficient *e* du cisaillement diminue aussi brusquement, et la relation (3) montre qu'il prend la valeur:

$$\frac{E'}{6}.$$

Les déformations sont alors beaucoup plus considérables, et ainsi apparait la notion de la limite d'élasticité dans le cisaillement.

Les observations qui précèdent sont relatives au cisaillement simple. En général, et dans la flexion en particulier, les surfaces parallèles qui tendent à éprouver un glissement relatif tendent aussi à se rapprocher ou à s'écarter l'une de l'autre sous l'action de compressions ou de tensions normales au plan du cisaillement et relativement très considérables. Il est facile de voir que ces efforts ont une influence très grande sur la rupture par cisaillement.

En effet, si au glissement qui amenait le point m en m' se joint une compression de la masse SS', qui amène m' en m'', l'effort suivant Am'' est plus petit que suivant Am'. La tension dans ce sens est certainement diminuée et peut devenir nulle ou même négative. Comme la rupture au cisaillement en dépend, elle se trouve reculée. En examinant de près ces faits, on y trouve l'origine d'une théorie du frottement, et une justification de la notion, assez peu scientifique, mais fort répandue, qui consiste à ajouter le frottement à la cohésion ou à l'adhérence.

Il en est tout autrement si la masse SS′, au lieu d'être comprimée par des actions normales au plan S, est tendue. Dans ce cas, la limite d'élasticité au cisaillement est atteinte beaucoup plus vite. Dans les prismes fléchissants, la rupture au cisaillement et le glissement longitudinal sont à redouter dans les parties de la pièce où le béton travaille à la tension.

D'après ce qui précède, on conçoit nettement l'efficacité des liaisons métalliques transversales contre la rupture par cisaillement des prismes en béton. Elle est la même que celle des armatures principales contre les efforts de traction. Cependant cette comparaison n'est pas tout à fait exacte, et le pourcentage du fer employé dans la triangulation métallique peut être relativement plus faible que le pourcentage du fer employé dans les armatures principales. En effet, l'effort de cisaillement, rapporté à l'unité de surface, est toujours assez faible dans les pièces fléchissantes en béton armé, et il dépend toujours du constructeur qu'il en soit ainsi. Le plus souvent les triangulations et liaisons transversales ne servent qu'à augmenter le coefficient de sécurité, qui serait faible si ces pièces n'existaient pas. On peut donc admettre pour les liaisons un travail plus considérable que pour les armatures, qui sont des pièces essentielles dans la résistance.

On sait que le sens de l'effort tranchant dans certaines sections d'un prisme fléchissant peut changer pendant le passage des charges roulantes ; il peut même arriver que l'effort tranchant passe brusquement de sa valeur maxima positive à une valeur égale négative. Ce cas se présente dans la section du milieu d'un prisme sur lequel roule une force unique P. L'effort tranchant au milieu passe brusquement de $+\frac{P}{2}$ à $-\frac{P}{2}$, au moment où la force passe dans la section centrale.

Généralement la réversion des effets n'est ni aussi

complète ni aussi brusque; elle existe pourtant et placerait le béton dans des conditions peu favorables, si l'on omettait de tenir compte de cette circonstance dans les projets. Cette difficulté se résout par l'emploi de liaisons inclinées à 45° dans les deux sens; ainsi apparaît la nécessité de doter les prismes en béton d'une triangulation métallique à peu près complète. Celle-ci est d'autant plus efficace que les mailles en sont plus serrées; elle peut être constituée à l'aide de simples fils de fer simplement noyés dans la masse du ciment, et ne représente pas une dépense appréciable. N'ayant jamais pris le soin de relier solidement les fils de la triangulation aux armatures, nous n'avons jamais eu lieu de regretter l'absence de cette précaution, qui est usuelle, mais qui n'est pas nécessaire et qui constitue une sujétion onéreuse. Cependant elle augmente certainement l'adhérence des armatures au béton.

Fig. 2.

La méthode exposée ci-dessus permet de déterminer par approximation successive la surface déformée réelle des sections primitivement planes. Il convient d'abord de remarquer que la quantité désignée par i, quotient du glissement ε par la distance des deux sections S et S', n'est autre chose que l'angle formé par les deux positions

PP′ et PP″ d'un élément de la normale NN′ considéré avant et après la déformation.

Il faut, en outre, admettre le théorème suivant, qui résulte de la théorie générale et dont la démonstration trouvera sa place dans les notes successives qui établiront les propriétés annoncées dans le présent article :

Tout mouvement de glissement de la section S′ *par rapport à* S *détermine le même effort de cisaillement dans l'aire élémentaire ab et dans l'aire égale cd, située dans un plan* NN′ *perpendiculaire à* S.

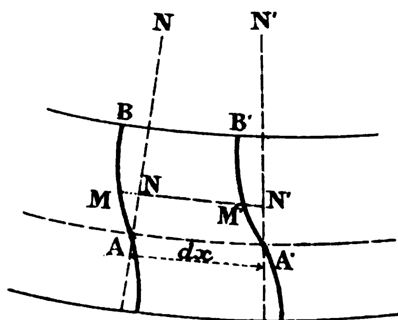


Fig. 3.

Cette propriété étant admise, considérons deux points A et A′ de la fibre neutre d'un prisme fléchissant. Soient AN, A′N′, les plans normaux à la fibre neutre ; la résistance des matériaux admet que les molécules situées avant la déformation dans les sections A et A′ se trouveront, après la déformation, dans ces plans AN, A′N′. Étudions les surfaces déformées réelles AMB, A′M′B′.

Si l'on admet, comme il convient dans la méthode d'approximation successive, que les efforts élastiques dans l'aire M′B′ diffèrent peu de ceux que permet de calculer l'hypothèse de la déformation plane, on peut connaître immédiatement le travail de cisaillement produit par le glissement longitudinal dans l'aire élémentaire MM′ et le

travail égal produit par l'effort tranchant dans la surface AB, au point A.

Si l'on désigne par S la somme des forces élastiques agissant normalement sur l'aire B'M', et par b la largeur de la section du prisme en M, l'expression du travail de cisaillement est :

$$\frac{1}{b}\frac{dS}{dx}.$$

La quantité $\frac{dS}{dx}$ est fonction de x et aussi de l'abscisse du point M' dans la section B'A', comptée à partir d'une origine quelconque.

Ceci posé, en nous reportant à la relation précédente (1), nous obtenons la relation :

$$\frac{E+E'}{6}\,i = \frac{1}{b}\frac{dS}{dx},$$

c'est-à-dire une équation différentielle du premier degré entre les coordonnées de la ligne courbe AB, car i n'est autre chose que le coefficient angulaire de la tangente à cette courbe.

Quand une intégration facile a résolu le problème, il est aisé de constater *a posteriori* que la différence MN — M'N' est généralement petite par rapport à AA' — NN', et on peut même calculer ainsi une limite de l'erreur introduite par l'hypothèse de la déformation plane.

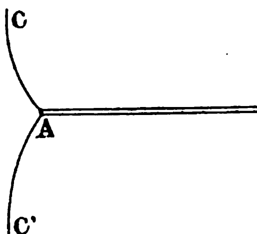


FIG. 4.

Nous avons admis précédemment que la surface déformée réelle est à simple courbure. Cette hypothèse n'est pas exacte aux abords de l'armature, surtout quand la limite d'élasticité du ciment est dépassée. Dans ce cas, la sur-

face déformée est à double courbure, et la section de l'armature se trouve au fond d'une sorte de cône CAC', à génératrices curvilignes. Malgré la difficulté des études de ce genre, il est possible d'introduire quelque précision dans ce problème,

Le glissement des armatures métalliques dans leur gaine de ciment peut résulter de deux causes :

1° Un allongement brusque de l'armature entraîne forcément le glissement. C'est ce mode de destruction de l'adhérence qu'a vu M. de Joly dans des expériences relatées au numéro des *Annales* du 3ᵉ trimestre 1898;

2° Le glissement se produit aussi en conséquence des efforts de traction que le cisaillement développe dans le ciment, et qui peuvent désagréger celui-ci.

Le premier mode de rupture par glissement ne dépend que de la section de l'armature et non de son périmètre ; il est à craindre dans la section où le moment fléchissant est maximum; contre lui les liaisons transversales sont peu efficaces.

Le second mode de rupture se produit, au contraire, aux extrémités de la pièce où l'effort tranchant est maximum et le moment fléchissant nul. Dans cette région, l'aptitude de l'armature à la résistance au glissement est proportionnelle à son périmètre.

Dans la pratique, c'est ce mode de rupture qu'il faut redouter exclusivement. On s'y oppose aisément par les liaisons transversales dont nous avons parlé et aussi en aplatissant les extrémités de l'armature, de façon qu'elle ne puisse glisser sans écraser le ciment.

Dans les expériences à la compression, la rupture se fait, en réalité, par cisaillement. Si le rapport entre la hauteur du prisme essayé et le côté de base dépasse 2, le prisme se divise en deux parties séparées par un plan dont le fruit est égal à 2, et la partie supérieure glisse sur l'autre.

M. Durand-Claye a expliqué théoriquement ces faits ; mais la théorie très simple qu'il a donnée n'est pas rigoureuse. Il en a tiré cette conclusion que la résistance au cisaillement est égale au quart de la résistance à la compression. Cette conclusion n'est pas tout à fait exacte. Dans les expériences en question, la résistance au glissement était favorisée par les pressions normales au plan de glissement, et elle a été à peu près double du chiffre indiqué.

La théorie nouvelle explique parfaitement ces faits qui n'ont, du reste, aucune importance pour le cas de la flexion. En effet, la résistance à la compression, au cas de la flexion, est très considérable et analogue à celle qu'offre le mortier dans les joints minces. On connaît les expériences de M. Tourtay (*Annales*, 1885) ; ses conclusions s'appliquent aux bétons comprimés des prismes fléchissants. Dans ce cas, comme dans le cas des joints minces, la rupture par glissement est impossible ; nous avons démontré rigoureusement que le moindre mouvement de glissement aurait pour effet de diminuer énormément la force qui tendrait à le produire : et ainsi ce mouvement s'arrêterait bien avant la rupture. Ce fait est la conséquence de la faiblesse comparative du coefficient d'élasticité au cisaillement. Il n'est donc pas étonnant que M. Considère ait pu développer par flexion, dans ses prismes d'expériences des pressions qui ont dû atteindre 250 kilogrammes par centimètre carré. Cette situation est encore améliorée par les liaisons transversales.

Le calcul précis des prismes fléchissants est fort compliqué. Il faut le faire dans l'hypothèse où les déformations par compression sont élastiques, ainsi que celles du fer, mais non celles du béton travaillant à l'extension. Le problème donne lieu à une discussion très intéressante, dont nous allons faire connaître le résultat principal. Contrairement à ce qui se passe pour les pièces métal-

liques, on ne peut pas, dans les prismes en sidéro-ciment à section rectangulaire, s'imposer *a priori* le travail maximum de la matière.

En ce qui concerne le travail à la traction, aucune difficulté ne se présente ; il sera égal à l'effort qui entraînerait la rupture, si l'armature n'existait pas. Ceci posé, si l'on s'assigne *a priori* le travail du fer, on crée en même temps une limite inférieure du travail du ciment à la compression, quel que soit le pourcentage du métal. Cette limite est en général fort élevée, et beaucoup d'ingénieurs hésiteront toujours à l'accepter. Pour éviter cet inconvénient, deux moyens peuvent être employés : on peut d'abord, comme dans le système Hennebique, utiliser pour la résistance à la compression le plancher établi sur les poutres rectangulaires. On peut aussi, comme dans le système Coignet, employer des armatures supérieures. Celles-ci travailleront peu, comme il arrive toujours quand le fer est engagé dans du béton dont les déformations restent élastiques. Elles ne diminueront pas sensiblement le travail du béton ; mais elles seront une garantie contre les malfaçons. Toutes ces questions sont de l'ordre purement rationnel, et nous les avons complètement élucidées.

Le calcul des poutres en ciment armé exige encore la détermination de la tension persistante des armatures inférieures, et de la tension des fibres supérieures du ciment pendant les périodes de repos des poutres. Ce problème n'est pas difficile, parce qu'il ne vise que des déformations élastiques auxquelles suffisent les procédés habituels de la résistance des matériaux. Sa solution ne présente d'intérêt que pour les poutres dépourvues d'armatures supérieures.

Nous avons étudié l'application de cette théorie aux fondations, aux piles de ponts et de viaducs, aux travées rectilignes, aux arcs, aux planchers, aux tourelles, etc.

Elle nous a conduit à construire des ponts de 7 mètres

de longueur pour machines de 20 tonnes qui ont coûté 500 francs ; des passages supérieurs de 16 mètres qui ont coûté 800 francs. On peut affirmer qu'elle permet de réduire la dépense des ouvrages à la septième partie du prix d'ouvrages métalliques similaires. Il s'agit donc d'un fait extrêmement important dans la construction, et qui doit nécessairement attirer l'attention des ingénieurs.

Le Mans, le 9 février 1899.

N° 5

NOTE

SUR LES

CONDITIONS DE RÉSISTANCE DES BARRAGES DE RÉSERVOIRS EN MAÇONNERIE

Par M. BARBET, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

I. — Exposé.

Dans son étude intitulée : *Quelques considérations sur la construction des grands barrages*, présentée, le 5 août 1895, à l'Académie des Sciences, M. l'Inspecteur général Maurice Lévy a défini les conditions de résistance que doivent remplir ces ouvrages et établi les différentes expressions nécessaires pour les soumettre au calcul.

Nous nous proposons, dans la présente note, de montrer que ces conditions sont réalisées, pour les retenues de hauteur moyenne, lorsque la première est satisfaite, c'est-à-dire dès que la pression élastique normale à l'extrémité amont de chaque joint horizontal est au moins égale à la pression de l'eau du réservoir en ce point ; — que pour les grandes retenues, cette pression élastique doit dépasser celle de l'eau, mais que, si elle est suffisamment élevée pour qu'il n'y ait pas tendance au glissement dans le plan de base, la stabilité du barrage est partout assurée.

A cet effet, nous étudierons les deux cas simples où la section transversale de l'ouvrage serait triangulaire ou rectangulaire. Nous montrerons que le profil réel d'un barrage, intermédiaire comme forme entre ces deux sections théoriques, est généralement plus satisfaisant que le triangle et ne se rapproche du rectangle, au point de vue de la répartition des charges, que sous de faibles profondeurs d'eau. La section triangulaire étant elle-même préférable à la section rectangulaire et permettant de répondre à toutes les conditions exigées de résistance, au moins pour les retenues admissibles, notre démonstration, sans être mathématiquement rigoureuse, n'en sera pas moins pratiquement faite.

M. Maurice Lévy a fait voir(*) que, pour un profil triangulaire dont le sommet coïncide avec le niveau de l'eau, la loi dite du *trapèze* est légitime, c'est-à-dire conforme à la théorie mathématique de l'élasticité; que, pour une section rectangulaire, l'application de cette loi donne des résultats défavorables, c'est-à-dire avantageux au point de vue de la sécurité. Nous ferons en conséquence usage des formules auxquelles elle conduit.

II. — Formules à appliquer.

a. — **Profil triangulaire.** — Soient, dans un barrage à profil triangulaire supposé sans extension, dont le parement d'amont est vertical et dont le sommet coïncide avec le niveau de la retenue :

φ, l'angle au sommet;

ε, la largeur d'un joint horizontal, exprimée en mètres;

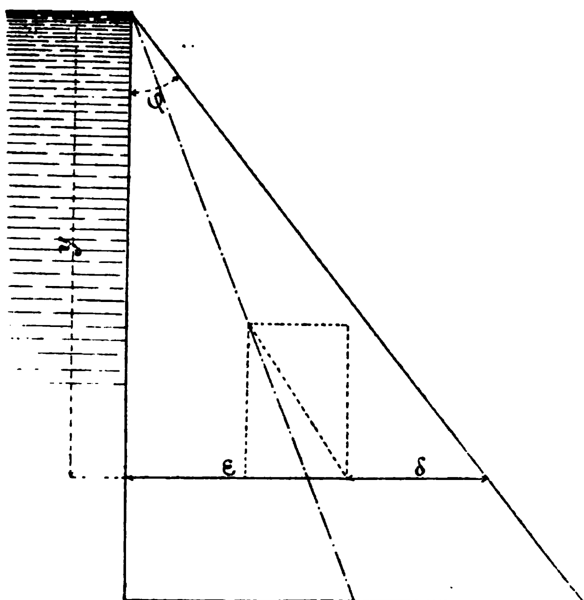
y, la hauteur de l'eau au-dessus de ce joint;

(*) *Comptes Rendus des séances de l'Académie des Sciences*, — 2 mai, 4 juillet 1898.

δ, la distance horizontale du centre de pression au parement d'aval;

k, le poids spécifique de la maçonnerie;

n' et n'', les pressions élastiques normales aux extrémités amont et aval du joint, en tonnes par mètre carré.



On aura :

$$n' = \frac{6\delta - 2\varepsilon}{\varepsilon} \times k\frac{y}{2}; \qquad n'' = ky - n';$$

$$\delta = \frac{2\varepsilon}{3} - \frac{y^2}{3k\varepsilon};$$

d'où :

$$\begin{cases} n' = \left(k - \dfrac{1}{\tan^2\varphi}\right) y = \alpha y, \\ n'' = (k - \alpha) y, \end{cases}$$

α étant une constante positive.

La pression normale n en un point de la section ε situé à la distance x du parement d'amont, les composantes normale et tangentielle n_1 et t de la pression totale exercée sur un élément vertical passant par le point (x, y) sont données par les formules générales suivantes, établies par M. l'Inspecteur général Maurice Lévy :

$$n = P + Qx,$$
$$n_1 = y + P'' \frac{x^2}{2} + Q'' \frac{x^3}{6},$$
$$t = (k - P')\, x - Q' \frac{x^2}{2};$$

où les accents désignent des dérivées par rapport à y.

On a d'ailleurs :

$$P = n'; \qquad Q = \frac{n'' - n'}{\varepsilon}.$$

Pour un profil triangulaire :

$$P = \alpha y; \qquad Q = \frac{(k - 2\alpha) y}{\varepsilon} = \frac{k - 2\alpha}{\text{tang}\,\varphi} = \beta;$$
$$P' = \alpha; \qquad Q' = 0;$$
$$P'' = 0; \qquad Q'' = 0;$$
$$n = \alpha y + \beta x;$$
$$n_1 = y;$$
$$t = (k - \alpha) x.$$

b. — **Profil rectangulaire.** — Dans un profil rectangulaire :

$$n' = \frac{6\delta - 2\varepsilon}{\varepsilon} \times ky; \qquad n'' = 2ky - n';$$
$$\delta = \frac{\varepsilon}{2} - \frac{y^2}{6k\varepsilon};$$

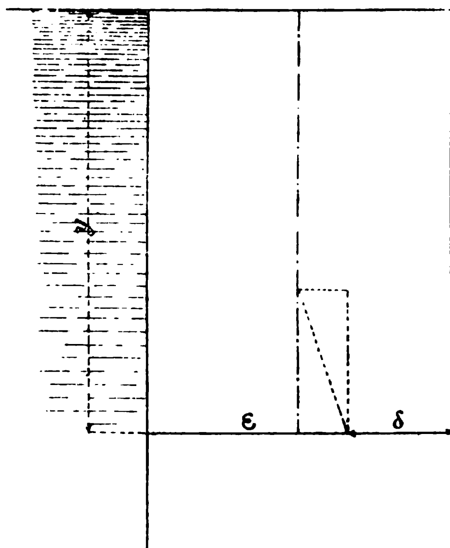
d'où :
$$\begin{cases} n' = \left(k - \dfrac{y^2}{\varepsilon^2}\right) y = \alpha y; \\ n'' = \left(k + \dfrac{y^2}{\varepsilon^2}\right) y; \end{cases}$$

α étant une fonction positive de y.

$$P = \alpha y; \qquad Q = \frac{2y^3}{\varepsilon^3};$$

$$P' = \alpha - \frac{2y^2}{\varepsilon^2}; \qquad Q' = \frac{6y^2}{\varepsilon^3};$$

$$P'' = -\frac{6y}{\varepsilon^2}; \qquad Q'' = \frac{12y}{\varepsilon^3}.$$



D'où, posant :

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{y}{\varepsilon} = \varphi \\ \dfrac{x}{\varepsilon} = z \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} n = y\,(\alpha + 2\varphi^2 z); \\ n_1 = y\,(1 - 3z^2 + 2z^3); \\ t = 3y\varphi z\,(1 - z). \end{array}$$

III. — **Glissement suivant une section horizontale.**

Pour qu'il n'y ait pas glissement suivant une section horizontale faite à la profondeur y, il faut que le poids N

de la maçonnerie au-dessus de cette section soit au moins égal à $\frac{y^2}{2f}$, f étant le coefficient de frottement.

Dans un profil triangulaire, cette condition se traduit par l'inégalité :

$$\text{tang } \varphi \geqq \frac{1}{fk};$$

ou

$$\alpha \geqq k(1 - kf^2).$$

Or k est plus grand que 2; $f = 0{,}75$; donc $(1 - kf^2)$ est négatif, de sorte qu'il n'y aura jamais glissement si le profil est sans extension. A plus forte raison cette condition sera-t-elle réalisée si la pression élastique à l'extrémité amont d'un joint est au moins égale à la pression de l'eau, c'est-à-dire si α est au moins égal à l'unité.

Dans un profil rectangulaire, on doit avoir :

$$k\epsilon y \geqq \frac{y^2}{2f};$$

ou

$$\alpha \geqq k(1 - 4kf^2);$$

inégalité satisfaite pour toute valeur positive de α.

IV. — Condition de non-soufflure au parement d'aval.

Cette condition est définie par l'inégalité :

$$n_1 \geqq 0.$$

Elle est d'elle-même satisfaite dans un profil triangulaire, puisque $n_1 = y$, quel que soit l'angle au sommet φ.

Si le profil est rectangulaire, n_1 est égal à y au parement d'amont et décroît d'une manière continue pour s'annuler au parement d'aval où, par suite, il n'y a point traction dans le sens horizontal.

V. — Compression maxima suivant un élément quelconque.

La compression maxima A, en un point quelconque du barrage, a pour valeur :

$$A = \frac{n + n_1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(n - n_1)^2 + 4t^2}.$$

a. — **Profil triangulaire.** — Pour un profil triangulaire, cette expression devient :

$$A = \frac{(\alpha + 1)y + \beta x}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{[(\alpha - 1)y + \beta x]^2 + 4(k - \alpha)^2 x^2}.$$

Étudions les variations de A avec x, pour une valeur donnée de y, et prenons à cet effet sa dérivée :

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{\beta}{2} + \frac{1}{2}\frac{\beta[(\alpha - 1)y + \beta x] + 4(k - \alpha)^2 x}{\sqrt{[(\alpha - 1)y + \beta x]^2 + 4(k - \alpha)^2 x^2}}$$
$$= \frac{\beta}{2} + \frac{1}{2}\frac{[\beta^2 + 4(k - \alpha)^2]x + \beta(\alpha - 1)y}{\sqrt{[(\alpha - 1)y + \beta x]^2 + 4(k - \alpha)^2 x^2}}.$$

α peut varier de 0 à k.

$\beta = \frac{k - 2\alpha}{\operatorname{tang} \varphi} = (k - 2\alpha)\sqrt{k - \alpha}$ décroit de $k\sqrt{k}$ à zéro lorsque α croît de zéro à $\frac{k}{2}$. Lorsque α croît de $\frac{k}{2}$ à k, β passe par un minimum négatif et s'annule de nouveau pour $\alpha = k$. Le poids spécifique de la maçonnerie étant au moins égal à 2, on peut donc avoir :

$$\alpha - 1 \leq 0 \qquad \beta \geq 0$$
$$\alpha - 1 \geq 0 \qquad \beta \geq 0$$
$$\alpha - 1 \geq 0 \qquad \beta \leq 0$$

Comparons les valeurs absolues des deux termes de

$\frac{\partial A}{\partial x}$, c'est-à-dire formons la différence :

$$\beta^2 \left\{ [(\alpha-1)y+\beta x]^2 + 4(k-\alpha)^2 x^2 \right\} - \left\{ \beta[(\alpha-1)y+\beta x] + 4(k-\alpha)^2 x \right\}^2$$

ou, à un facteur positif près :

$$-[\beta^2 + 4(k-\alpha)^2]\, x - 2\beta(\alpha-1)y.$$

Si β et $\alpha - 1$ sont tous deux positifs, le second terme de $\frac{\partial A}{\partial x}$ est positif et plus grand en valeur absolue que le premier ; donc $\frac{\partial A}{\partial x}$ est toujours positif et A est une fonction croissante de x (*).

Si β et $\alpha - 1$ sont de signes contraires, $\frac{\beta}{2}$ est plus grand en valeur absolue que le second terme de $\frac{\partial A}{\partial x}$ tant que l'on a :

$$[\beta^2 + 4(k-\alpha)^2]\, x + 2\beta(\alpha-1)\, y < 0,$$

et *a fortiori* tant que : $[\beta^2+4(k-\alpha)^2]\, x + \beta(\alpha-1)\, y < 0$, ou que le second terme de $\frac{\partial A}{\partial x}$ est négatif. Si donc β est positif, $\frac{\partial A}{\partial x}$, nul pour $x = 0$, est ensuite toujours positif. — Si, au contraire, β est négatif, $\frac{\partial A}{\partial x}$ est d'abord négatif, puis devient positif lorsque la première inégalité ci-dessus cesse d'être satisfaite, c'est-à-dire lorsque x est plus grand que $-\frac{2\beta(\alpha-1)}{\beta^2+4(k-\alpha)^2}\, y$, valeur admissible si α est plus petit que $\frac{k}{2}+1$.

(*) Il en serait de même si β et $\alpha - 1$ pouvaient être tous deux négatifs.

En définitive, quand x croît de 0 à ε, A est toujours croissant, ou bien décroît pour croître ensuite, mais ne croît jamais pour ensuite décroître. Sa plus grande valeur se produit donc à l'un des parements. Ajoutons que A ne peut jamais être négatif, puisqu'il est plus grand en chaque point que la compression minima B qui, nous le verrons bientôt, est toujours positive.

La différence entre les valeurs de A pour $x = \varepsilon = \frac{y}{\sqrt{k-\alpha}}$ et pour $x = 0$ est, à un facteur positif près :

$$\frac{\beta}{\sqrt{k-\alpha}} + \sqrt{\left(\alpha - 1 + \frac{\beta}{\sqrt{k-\alpha}}\right)^2 + 4(k-\alpha)} \pm (\alpha - 1),$$

suivant que α est plus petit ou plus grand que l'unité ; ou, remplaçant β par son expression $(k - 2\alpha)\sqrt{k-\alpha}$:

$$2k - 3\alpha + 1 \pm (\alpha - 1).$$

Pour $\alpha < 1$: $2(k - \alpha)$, toujours positif : la plus grande valeur de A correspond donc au parement d'aval.

Pour $\alpha > 1$: $2(k - 2\alpha + 1)$: la plus grande valeur de A se produit donc au parement d'aval ou au parement d'amont, suivant que α est plus petit ou plus grand que $\frac{k+1}{2}$.

Au parement d'amont, $A = \frac{(\alpha + 1)y}{2} \mp \frac{(\alpha - 1)y}{2}$. Sa limite supérieure est donc ky (pour $\alpha = k$), qui n'est autre que la compression maxima, quel que soit α, quand le réservoir est vide.

Au parement d'aval, $A = (k - \alpha + 1)\, y$, et sa limite supérieure est $(k + 1)\, y$ (pour $\alpha = 0$). Il est d'ailleurs plus petit que ky dès que α est plus grand que l'unité, de sorte que la compression maxima dans la maçonnerie ne dépasse 12 kilogrammes par centimètre carré, quand la

pression élastique à l'extrémité amont d'une section horizontale est au moins égale à la pression de l'eau, que pour les retenues de plus de 48 à 60 mètres si k est compris entre 2, 5 et 2.

b. — **Profil rectangulaire.** — Les expressions de A et de ses deux premières dérivées, pour un profil rectangulaire, sont les suivantes :

$$A = y\left[\frac{(\alpha+1)}{2} + \varphi^2 z - \frac{3z^2}{2} + z^3\right] + \frac{1}{2} y \sqrt{[\alpha - 1 + 2\varphi^2 z + 3z^2 - 2z^3]^2 + 36\varphi^2 z^2 (1-z)^2};$$

$$\frac{\partial A}{\partial z} = y[\varphi^2 - 3z(1-z)] + y\frac{(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)[\varphi^2+3z(1-z)]+18\varphi^2 z(1-z)(1-2z)}{\sqrt{(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)^2+36\varphi^2 z^2(1-z)^2}};$$

$$\frac{\partial^2 A}{\partial z^2} = -3y(1-2z) + 3y\frac{6\varphi^2\{(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)(1-2z)-2[\varphi^2+3z(1-z)]z(1-z)\}^2 + [(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)^2+36\varphi^2 z^2(1-z)^2][(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)(1-2z)-12\varphi^2 z(1-z)]}{[(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)^2+36\varphi^2 z^2(1-z)^2]\sqrt{(\alpha-1+2\varphi^2 z+3z^2-2z^3)^2+36\varphi^2 z^2(1-z)^2}}.$$

Pour voir quelle est l'allure générale de A, déterminons ses valeurs et définissons son mode de variation pour $x = 0$; $x = \frac{\varepsilon}{2}$; $x = \varepsilon$; ou $z = 0$; $z = \frac{1}{2}$; $z = 1$.

$z = 0$:

$$A_0 = \frac{1}{2} y[\alpha + 1 \mp (\alpha - 1)] = \begin{cases} y \\ \text{ou } \alpha y \end{cases}$$ Suivant que α est plus petit ou plus grand que 1.

$$\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)_0 = y\varphi^2(1 \mp 1) = \begin{cases} 0 \\ \text{ou } 2y\varphi^2 \end{cases}$$ *Id.*

$$\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_0 = 3y\left(-1 \mp 1 \mp 6\frac{\varphi^2}{\alpha - 1}\right) = \begin{cases} -6y\left(1 + \frac{3\varphi^2}{\alpha - 1}\right) \\ \text{ou} \\ 18y\frac{\varphi^2}{\alpha - 1} \end{cases}$$ *Id.*

$$z=\frac{1}{2}\left\{\begin{aligned}
&A_{\frac{1}{2}}=\frac{1}{2}y\left(k+\frac{1}{2}+\sqrt{\left(k-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{9}{4}\varphi^2}\right);\\
&\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)_{\frac{1}{2}}=y\left(\varphi^2-\frac{3}{4}+\frac{\left(k-\frac{1}{2}\right)\left(\varphi^2+\frac{3}{4}\right)}{\sqrt{\left(k-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{9}{4}\varphi^2}}\right);\\
&\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}}=\frac{9}{2}y\varphi^2\frac{\left(\varphi^2+\frac{3}{4}\right)^2-2\left[\left(k-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{9}{4}\varphi^2\right]}{\left[\left(k-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{9}{4}\varphi^2\right]\sqrt{\left(k-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{9}{4}\varphi^2}}.
\end{aligned}\right.$$

$$z=1\left\{\begin{aligned}
&A_1=y(k+\varphi^2);\\
&\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)_1=2y\varphi^2;\\
&\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_1=18y\frac{\varphi^2}{k+\varphi^2}.
\end{aligned}\right.$$

k étant plus grand que 2 et α plus petit que k, $A_{\frac{1}{2}}$ est plus grand que A_0 et A_1 plus grand que $A_{\frac{1}{2}}$, quel que soit α.

$\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)_0$ est nul ou positif suivant que α est plus petit ou plus grand que 1.

$\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_0$ est positif quand α est plus grand que 1. Il l'est encore lorsque α est plus petit que 1, car $1+\frac{3\varphi^2}{\alpha-1}=\frac{1}{\alpha-1}(k-1+2\varphi^2)$ est une quantité négative.

$\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)_{\frac{1}{2}}$ est toujours positif, comme le montre la différence suivante qui est positive, φ^2 étant plus petit que k :

$$\left(k-\frac{1}{2}\right)^2\left(\varphi^2+\frac{3}{4}\right)^2-\left[\left(k-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{9}{4}\varphi^2\right]\left(\varphi^2-\frac{3}{4}\right)^2$$
$$=\frac{3}{4}\varphi^2\left[4\left(k-\frac{1}{2}\right)^2-3\left(\varphi^2-\frac{3}{4}\right)^2\right].$$

$\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}}$ est de même signe que :

$$\left(\varphi^2 + \frac{3}{4}\right)^2 - 2\left[\left(k - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}\varphi^2\right] = \varphi^4 - 3\varphi^2 - 2k(k-1) + \frac{1}{16}.$$

La racine positive de ce polynôme en φ^2 étant supérieure à 3, $\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}}$ est toujours négatif.

Enfin $\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)_1$ et $\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)_1$ sont tous deux positifs.

A est donc, entre les deux parements, une fonction toujours croissante de z ou de x, ce qui ressortira mieux encore de la représentation graphique que nous en donnerons plus loin.

La compression maxima A_1 a pour limite $2ky$. Sa valeur est $(2k-1)\,y$, si α est égal à l'unité, et ne dépasse 12 kilogrammes par centimètre carré, selon le poids spécifique de la maçonnerie, que si la retenue est supérieure à 30 ou 40 mètres environ.

VI. — Compression minima.

La compression minima B a pour valeur :

$$B = \frac{n + n_1}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(n - n_1)^2 + 4t^2}.$$

a. — **Profil triangulaire.**

$$B = \frac{(\alpha + 1)\,y + \beta x}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{[(\alpha - 1)\,y + \beta x]^2 + 4\,(k - \alpha)^2\,x^2}.$$

On voit, d'après les développements qui précèdent :

Que si β et $\alpha - 1$ sont de même signe, $\frac{\partial B}{\partial x}$ est toujours négatif, et B est une fonction décroissante de x;

Que si β et $\alpha - 1$ sont de signes contraires, et si β est négatif, $\frac{\partial B}{\partial x}$, nul pour $x = o$, est ensuite toujours négatif ; — si β est positif, $\frac{\partial B}{\partial x}$ est d'abord positif, puis devient négatif à partir d'une certaine valeur de x ;

Qu'en somme, B est toujours décroissant, ou bien croît pour décroître ensuite, mais ne décroît jamais pour ensuite croître ; que, par conséquent, B, nul au parement d'aval, est partout ailleurs positif.

b. — **Profil rectangulaire.** — Il est facile de constater que, dans un profil rectangulaire :

$$B_0 = \left\{ \begin{matrix} \alpha y \\ \text{ou } y \end{matrix} \right\}$$

est toujours plus grand que

$$B_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} y \left(k + \frac{1}{2} - \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}\varphi^2}\right);$$

$B_{\frac{1}{2}}$ est positif pour toute valeur de φ^2 inférieure à $\frac{8}{9}k$, mais devient négatif si φ^2 est plus grand que $\frac{8}{9}k$ ou α plus petit que $\frac{1}{9}k$:

$$B_1 = o;$$

$\left(\frac{\partial B}{\partial z}\right)_0$ est positif ou nul suivant que α est plus petit ou plus grand que 1 ;

$\left(\frac{\partial^2 B}{\partial z^2}\right)_0$ est toujours négatif ;

$\left(\frac{\partial B}{\partial z}\right)_{\frac{1}{2}}$ est toujours négatif ; $\left(\frac{\partial^2 B}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}}$ toujours positif ;

$\left(\frac{\partial B}{\partial z}\right)_1 = o$;

$\left(\frac{\partial^2 B}{\partial z^2}\right)_1 = 6y\,\frac{k - 2\varphi^2}{k + \varphi^2}$ est négatif ou positif, suivant que α est plus petit ou plus grand que $\frac{k}{2}$.

Si α est plus grand que $\frac{k}{2}$, B est donc une fonction toujours décroissante de z ou de x, ou qui croît pour décroître ensuite, sans jamais décroître pour ensuite croître, c'est-à-dire que B est toujours positif.

Si, au contraire, α est plus petit que $\frac{k}{2}$, B devient négatif à partir d'une certaine valeur de x, que l'on peut déterminer en envisageant le produit :

$$\begin{aligned}A \times B = {} & y^2\left[\frac{\alpha+1}{2} + \varphi^2 z - \frac{3z^2}{2} + z^3\right]^2 \\ & - \frac{1}{4}\,y^2\,[(\alpha - 1 + 2\varphi^2 z + 3z^2 - 2z^3)^2 + 36\varphi^2 z^2\,(1-z)^2], \\ = {} & y^2\,[(\alpha + 2\varphi^2 z)\,(1 - 3z^2 + 2z^3) - 9\varphi^2 z^2\,(1-z)^2], \\ = {} & y^2\,(z-1)^2\,[-5\varphi^2 z^2 + 2kz + \alpha].\end{aligned}$$

A étant positif, B sera donc négatif si l'on a, pour z compris entre 0 et 1 :

$$5\varphi^2 z^2 - 2kz - \alpha > 0,$$

c'est-à-dire si la racine $z' = \frac{k + \sqrt{k^2 + 5\alpha\varphi^2}}{5\varphi^2}$ est inférieure à l'unité, ou

$$\alpha < \frac{k}{2}.$$

VII. — Cisaillement.

La force tangentielle maxima en un point donné a pour expression :

$$\frac{A - B}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{(n - n_1)^2 + 4t^2}.$$

On peut donc, dit M. Maurice Lévy, vérifier si nulle part la maçonnerie ne tend à se rompre par cisaillement. En appelant R′ la résistance à cet effort, on devrait avoir partout :

$$\frac{1}{2}\sqrt{(n-n_1)^2+4t^2} \leqq \mathrm{R}'.$$

a. — **Profil triangulaire.**

$$\frac{\mathrm{A}-\mathrm{B}}{2}=\frac{1}{2}\sqrt{[(\alpha-1)y+\beta x]^2+4(k-\alpha)^2x^2}.$$

Cette expression est toujours croissante avec x si $\alpha-1$ et β sont de même signe. Lorsque $\alpha-1$ et β sont de signes contraires, elle passe par un minimum pour une valeur de x moitié de celle qui correspond au minimum de A ou au maximum de B. La plus grande valeur de $\frac{\mathrm{A}-\mathrm{B}}{2}$ se produit donc toujours à l'un des parements.

Au parement d'amont : $\frac{\mathrm{A}-\mathrm{B}}{2}=\mp\frac{1}{2}(\alpha-1)y$. Sa limite supérieure, k étant plus grand que 2, est $\frac{1}{2}(k-1)y$ (pour $\alpha=k$).

Au parement d'aval : $\frac{\mathrm{A}-\mathrm{B}}{2}=\frac{1}{2}(k-\alpha+1)y$, et sa limite supérieure est $\frac{1}{2}(k+1)y$ (pour $\alpha=0$).

Pour $\alpha=1$, c'est-à-dire quand la pression élastique normale à l'extrémité amont d'une section horizontale est égale à la pression de l'eau, la force tangentielle maxima est égale à $\frac{1}{2}ky$. — Si l'on attribue à la résistance au cisaillement R′ la valeur $1^{\mathrm{kg}},5$ par centimètre carré, ou 15 tonnes par mètre carré, indiquée par les auteurs comme admissible pour les mortiers de chaux éminemment hydraulique, on voit que l'inégalité : $\frac{\mathrm{A}-\mathrm{B}}{2}\leqq\mathrm{R}'$ ne

sera satisfaite qu'autant que la hauteur de la retenue ne dépassera pas 12 à 15 mètres. — Il faudra donc, en général, faire intervenir à la fois la résistance au cisaillement et la résistance au frottement.

b. — **Profil rectangulaire.** — Il résulte du mode de variation de A et de B que, dans un profil rectangulaire, la force tangentielle maxima atteint sa plus grande valeur au parement d'aval lorsque α est plus grand que $\frac{k}{2}$. Montrons qu'il en est de même pour toute valeur positive de α et recourons à cet effet à l'expression de $\frac{A - B}{2}$:

$$\frac{1}{2} y \sqrt{(\alpha - 1 + 2\varphi^2 z + 3z^2 - 2z^3)^2 + 36\varphi^2 z^2 (1 - z)^2}$$

et à celles de ses dérivées première et seconde.

En faisant successivement $z = 0$, $z = \frac{1}{2}$ et $z = 1$, on trouve que :

$\left(\frac{A - B}{2}\right)_{\frac{1}{2}}$ est toujours plus grand que $\left(\frac{A - B}{2}\right)_0$;

$\left(\frac{A - B}{2}\right)_1$ toujours plus grand que $\left(\frac{A - B}{2}\right)_{\frac{1}{2}}$.

$\left(\frac{\partial \frac{A - B}{2}}{\partial z}\right)_0$ est négatif ou positif, suivant que α est plus petit ou plus grand que 1.

$\left(\frac{\partial \frac{A - B}{2}}{dz}\right)_{\frac{1}{2}}$ et $\left(\frac{\partial \frac{A - B}{2}}{\partial z}\right)_1$ sont toujours positifs.

$\left(\frac{\partial^2 \frac{A - B}{2}}{\partial z^2}\right)_0$ est toujours positif, $\left(\frac{\partial^2 \frac{A - B}{2}}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}}$ toujours négatif.

Enfin $\left(\dfrac{\partial^2 \dfrac{A - B}{2}}{\partial z^2}\right)_1$ est positif ou négatif suivant que α est plus petit ou plus grand que $\frac{4}{5}k$.

Donc $\frac{A - B}{2}$ est toujours croissant, ou bien décroit pour croître ensuite, et sa plus grande valeur correspond au parement d'aval.

$\left(\frac{A - B}{2}\right)_1 = \frac{1}{2}y\,(k + \varphi^2)$ a pour limite ky. Cette force tangentielle prend la valeur $\left(k - \frac{1}{2}\right)y$ si α est égal à l'unité : la résistance au cisaillement ne suffira donc pas, et la résistance au frottement devra intervenir pour les retenues de plus de 7^m,50 à 10 mètres.

VIII. — Représentation graphique de A et B.

Si l'on prend pour axes de coordonnées le joint horizontal considéré et la verticale du parement d'amont, les fonctions A et B peuvent être représentées, dans un profil triangulaire, par les deux branches d'une hyperbole dont le centre est au point :

$$\left\{\begin{aligned} x' &= \frac{-\beta\,(\alpha - 1)}{\beta^2 + 4\,(k - \alpha)^2}\,y \\ A' &= \left[1 + \frac{2\,(k - \alpha)^2\,(\alpha - 1)}{\beta^2 + 4\,(k - \alpha)^2}\right]y \end{aligned}\right.$$

et dont les axes font avec l'horizontale des angles, ω et $\omega + \frac{\pi}{2}$, tels que : $\operatorname{tang} 2\omega = \frac{\beta}{1 + (k - \alpha)^2}$.

Cette hyperbole est équilatère pour $\alpha = k - 1$; elle a pour l'un de ses axes la verticale du parement d'amont si $\alpha = \frac{k}{2}$ et tend à se réduire, lorsque l'angle au sommet

du triangle tend vers $\frac{\pi}{2}$ ou α vers k, à deux lignes droites horizontales $\begin{cases} A = ky \\ B = y \end{cases}$.

Pour un profil rectangulaire, la courbe représentative de A et B est du 4e degré, à deux branches. Elle tend à se ramener à une ligne droite et à une courbe à centre du 3e degré :

$$A = ky$$
$$B = y\,(1 - 3z^2 + 2z^3),$$

lorsque, α tendant vers sa limite k, l'empattement du barrage augmente indéfiniment.

Entre les deux extrémités d'une section horizontale, les courbes que nous venons de définir se présentent, suivant les différentes valeurs de α, conformément aux croquis ci-après (Pl. p. 40 *bis*).

IX. — Glissement.

M. Maurice Lévy a établi qu'en tenant compte à la fois de la résistance au cisaillement et de la résistance au frottement, l'inégalité exprimant qu'il ne peut y avoir glissement dans aucune direction est la suivante :

$$\frac{1}{2}\sqrt{(n - n_1)^2 + 4t^2} \leqq \frac{1}{\sqrt{1+f^2}}\left[R' + \frac{f(n+n_1)}{2}\right].$$

a. — **Profil triangulaire.** — Pour un profil triangulaire, cette inégalité devient :

$$\frac{1}{2}\sqrt{[(\alpha-1)y+\beta x]^2+4(k-\alpha)^2x^2} \leqq \frac{1}{\sqrt{1+f^2}}\left\{R'+\frac{f}{2}[(\alpha+1)y+\beta x]\right\},$$

ou, élevant au carré et multipliant par $4(1+f^2)$:

$$(1+f^2)\left\{[(\alpha-1)y+\beta x]^2+4(k-\alpha)^2x^2\right\} \leqq \left\{2R'+f[(\alpha+1)y+\beta x]\right\}^2,$$

ou enfin, ordonnant en x:

$$[\beta^2 + 4(k-\alpha)^2(1+f^2)]x^2 + 2\beta[(\alpha - 1 - 2f^2)y - 2fR']x$$
$$+ [(\alpha-1)^2 - 4\alpha f^2]y^2 - 4fR'(\alpha+1)y - 4R'^2 \leqq$$

Le polynôme du premier membre est une fonction pa bolique toujours croissante de x si le coefficient du ter en x est positif. S'il est négatif, cette fonction décr d'abord pour croître ensuite, de sorte que sa plus gran valeur, la seule à envisager, correspond toujours à l' des parements.

Au parement d'amont, c'est-à-dire pour $x = o$, l'i galité ci-dessus est satisfaite, pour toute valeur de y, que l'on a :

$$(\alpha - 1)^2 - 4\alpha f^2 \leqq o,$$

ou

$$(\sqrt{1+f^2} - f)^2 < \alpha < (\sqrt{1+f^2} + f)^2;$$

ou enfin, pour

$$f = 0{,}75,$$

$\frac{1}{4} < \alpha < 4$, condition toujours réalisée lorsque la press élastique à l'extrémité amont d'une section horiz tale est au moins égale à la pression de l'eau en ce po $(1 < \alpha < k)$.

Au parement d'aval, remplaçant x et β par leurs valeu

$$x = \varepsilon = \frac{y}{\sqrt{k-\alpha}}; \qquad \beta = (k - 2\alpha)\sqrt{k-\alpha},$$

et ordonnant en y, l'inégalité ci-dessus devient :

$$[(k-2\alpha)^2 + 4(k-\alpha)(1+f^2) + 2(k-2\alpha)(\alpha - 1 - 2f^2)$$
$$+ (\alpha-1)^2 - 4\alpha f^2]y^2 - 4fR'[k - \alpha + 1]y - 4R'^2 \leqq$$

ou

$$(k - \alpha + 1)^2 y^2 - 4fR'(k - \alpha + 1)y - 4R'^2 \leqq o,$$

Profil rectangulaire

$\frac{1}{9}k < \alpha < 1$

A
B
(A)
Compression maxima (A)
Compression minima (B)
O ε x
ε x
(B)
$\alpha > \frac{k}{2}$

A
B
(A)
Compression maxima (A)
Compression minima (B)
O ε x
x

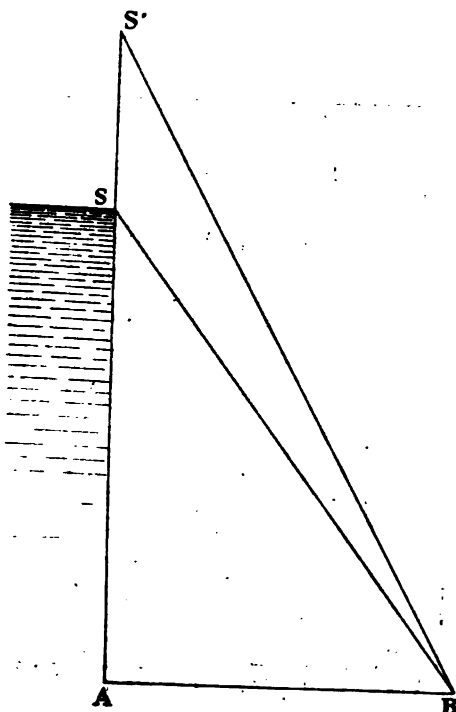
29151

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

ou enfin

$$[(k-\alpha+1)y+2R'(\sqrt{1+f^2}-f)][(k-\alpha+1)y-2R'(\sqrt{1+f^2}+f)]\leqq 0,$$

Le premier facteur étant positif, cette inégalité n'est satisfaite que pour les valeurs de y inférieures ou au plus égales à $\frac{2R'(f+\sqrt{1+f^2})}{k-\alpha+1}$, soit, pour $f=0{,}75$, $R'=15$, k compris entre 2,5 et 2 : 24 ou 30 à 60 mètres lorsque α varie de 1 à k..



Pour les barrages de plus grande hauteur, aucun profil triangulaire dont le sommet coïncide avec le niveau de la retenue ne satisfait vers sa base à la condition de non-

glissement. Il faudra donc, pour la réaliser, élever la maçonnerie au-dessus du niveau de l'eau, comme l'indique le croquis ci-contre.

Le profil SAB serait insuffisant, quel qu'en fût l'empattement, mais l'addition du triangle de maçonnerie SS'B augmentera la stabilité du barrage, et il sera toujours possible de déterminer une hauteur SS' et un empattement AB tels que la condition de non-glissement soit satisfaite pour la retenue AS.

b. — **Profil rectangulaire.** — La condition à réaliser se traduit par l'inégalité suivante :

$$\frac{1}{2} y \sqrt{(\alpha - 1 + 2\varphi^2 z + 3z^2 - 2z^3)^2 + 36\varphi^2 z^2 (1 - z)^2}$$
$$- \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \left[R' + \frac{fy}{2} (\alpha + 1 + 2\varphi^2 z - 3z^2 + 2z^3) \right] \leqq 0.$$

Désignant par C le premier membre, et faisant $f = 0{,}75$, $R' = 15$, on trouve les valeurs ci-après de C, $\frac{\partial C}{\partial z}$ et $\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$:

$$\text{Pour } z = 0 \begin{cases} C_0 = -12 - \frac{1}{2} y \left[\frac{3}{5} (\alpha + 1) \pm (\alpha - 1) \right] \\ \left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_0 = y\varphi^2 \left(\mp 1 - \frac{3}{5} \right) \\ \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right)_0 = 3y \left[\mp \left(1 + 6 \frac{\varphi^2}{\alpha - 1} \right) + \frac{3}{5} \right]. \end{cases}$$

$$\text{Pour } z = \frac{1}{2} \begin{cases} C_{\frac{1}{2}} = -12 - \frac{1}{2} y \left[\frac{3}{5} \left(k + \frac{1}{2} \right) - \sqrt{\left(k - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{9}{4} \varphi^2} \right] \\ \left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_{\frac{1}{2}} = y \left[\frac{\left(k - \frac{1}{2} \right) \left(\varphi^2 + \frac{3}{4} \right)}{\sqrt{\left(k - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{9}{4} \varphi^2}} - \frac{3}{5} \left(\varphi^2 - \frac{3}{4} \right) \right] \\ \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}} = \frac{9}{2} y \varphi^2 \frac{\left(\varphi^2 + \frac{3}{4} \right)^2 - 2 \left[\left(k - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{9}{4} \varphi^2 \right]}{\left[\left(k - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{9}{4} \varphi^2 \right] \sqrt{\left(k - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{9}{4} \varphi^2}}. \end{cases}$$

$$\text{Pour } z = 1 \left\{ \begin{aligned} & C_1 = -12 + \frac{1}{5} y (k + \varphi^2) \\ & \left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_1 = \frac{2}{5} y \varphi^2 \\ & \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right)_1 = 3y \left[\frac{5\varphi^2 - k}{k + \varphi^2} - \frac{3}{5}\right]. \end{aligned} \right.$$

Si α est compris entre o et $\frac{1}{4}$, $C_0 = -12 - \frac{1}{5} y (4\alpha - 1)$ est négatif pour toute valeur de y au plus égale à $\frac{60}{1 - 4\alpha}$, expression qui varie de 60 mètres à ∞.

Si α, plus petit que k, est plus grand que $\frac{1}{4}$,

$$C_0 = \left\{ \begin{matrix} -12 - \frac{1}{5} y (4\alpha - 1) \\ \text{ou} \\ -12 - \frac{1}{5} y (4 - \alpha) \end{matrix} \right\}$$

est toujours négatif.

$\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_0$ est toujours négatif, si α est plus petit que 1, et toujours positif si α est plus grand que 1.

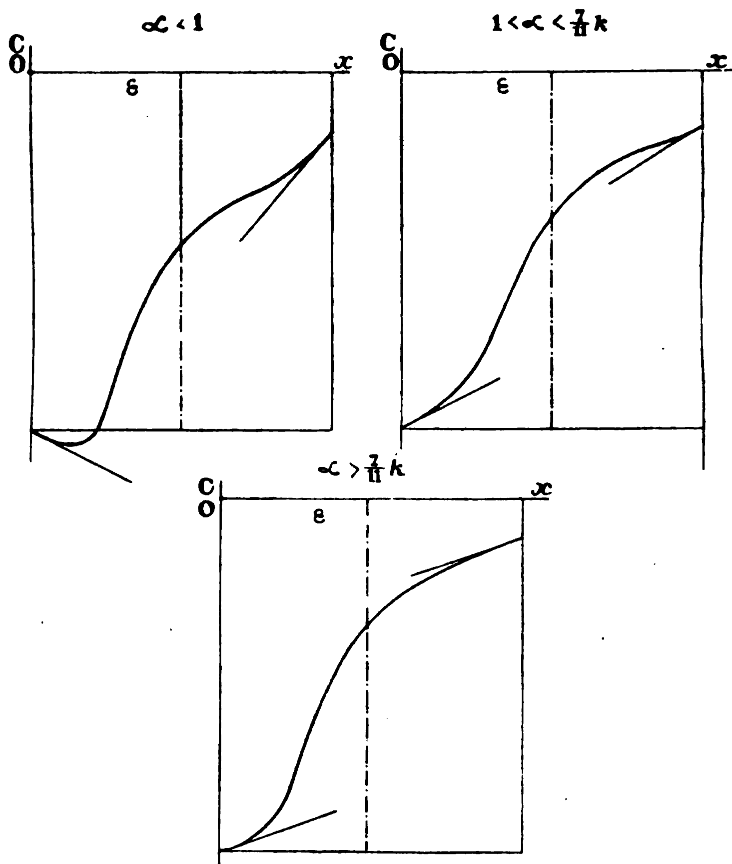
$\left(\frac{\partial^2 C}{\partial z}\right)_0$ est toujours positif.

Dans l'expression de $C_{\frac{1}{2}}$,

$$\frac{3}{5}\left(k + \frac{1}{2}\right) - \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}\varphi^2}$$

étant négatif ou nul, $C_{\frac{1}{2}}$ est négatif pour toute valeur de y au plus égale à : $\frac{24}{\sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}\varphi^2} - \frac{3}{5}\left(k + \frac{1}{2}\right)}$,

expression qui varie de 18^m,50 environ ($\alpha = 0$, $k = 2,5$) à ∞ ($\alpha = k = 2$), et de 26^m,20 à 38^m,60 environ pour $\alpha = 1$.



$\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_{\frac{1}{2}}$ est toujours positif, $\left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right)_{\frac{1}{2}}$ toujours négatif.

C_1 est négatif pour toute valeur de y inférieure à $\frac{60}{k + \varphi^2}$, qui varie de 12 à 30 mètres, suivant les valeurs de α et de k, et de 15 à 20 mètres pour $\alpha = 1$.

$\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_1$ est positif.

Enfin $\left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right)_1$ est positif ou négatif suivant que α est plus petit ou plus grand que $\frac{7}{11}k$.

On peut donc représenter graphiquement la fonction C conformément aux croquis ci-contre, qui supposent la retenue assez faible pour que C soit partout négatif.

On voit que C est une fonction croissante de z ou de x, ou que cette fonction décroît d'abord pour croître toujours ensuite, c'est-à-dire que sa plus grande valeur correspond à l'un des parements. Elle est plus petite au parement d'amont qu'au parement d'aval : il suffira donc d'en déterminer le signe à l'extrémité aval du plan de base. Pour les hauteurs de retenue dépassant les limites indiquées plus haut, la condition de non-glissement ne pourrait d'ailleurs être réalisée qu'en surélevant la maçonnerie.

X. — Profil réel d'un barrage.

Résumé et conclusions pratiques. — En résumé, dans un barrage à profil triangulaire ou rectangulaire, dont le sommet ou le couronnement coïncide avec le niveau de la retenue, il ne peut y avoir glissement suivant une section horizontale, si le profil est sans extension au parement vertical d'amont, et la condition de non-soufflure au parement d'aval est toujours réalisée.

La plus grande valeur de la compression maxima suivant un élément quelconque se produit toujours à l'un des parements : au parement d'aval dans un profil rectangulaire ; au parement d'aval ou au parement d'amont, dans un profil triangulaire, suivant que la pression élastique αy, normale à l'extrémité amont du joint horizontal considéré, sous la profondeur d'eau y, est plus petite ou plus

grande que $\frac{k+1}{2}y$, k étant le poids spécifique de la maçonnerie. La compression maxima maximorum n'atteint des limites dangereuses que pour des retenues supérieures à 35 mètres (*profil rectangulaire*) ou 55 mètres (*profil triangulaire*) en moyenne, lorsque α est au moins égal à l'unité. Elle peut généralement être réduite à un chiffre admissible en pratique, puisqu'elle tend vers ky lorsque l'empattement du barrage augmente indéfiniment, limite qui ne dépasse 12 kilogrammes par centimètre carré que sous des charges d'eau supérieures à 55 mètres environ.

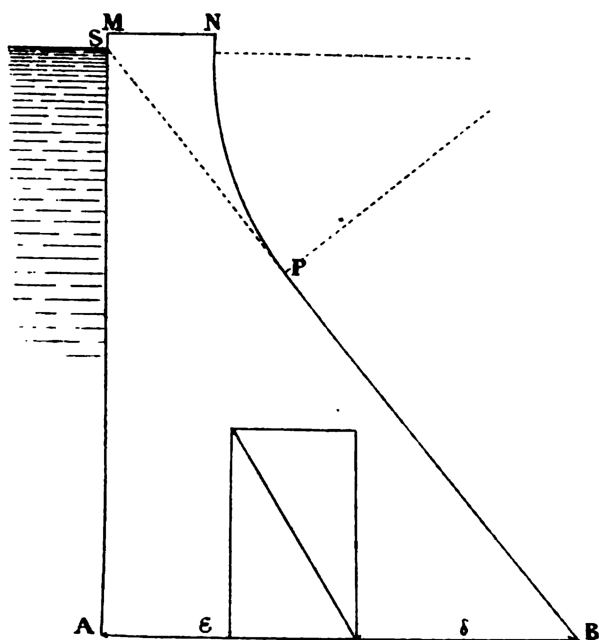
Il n'y a extension en aucun point d'un profil triangulaire, s'il y a compression au parement d'amont; mais, pour qu'il en soit de même dans un profil rectangulaire, il faut que la pression élastique normale à l'extrémité amont de chaque joint soit au moins égale à $\frac{k}{2}y$, c'est-à-dire à la pression de l'eau multipliée par un coefficient compris entre 1 et 1,125 si le poids spécifique de la maçonnerie est compris entre 2 et 2,5.

Pour des retenues supérieures à 10 ou 15 mètres, la résistance de la maçonnerie au cisaillement n'est pas suffisante et il faut faire intervenir, en même temps, la résistance au frottement.

En tenant compte à la fois de ces deux éléments de résistance, la condition de non-glissement dans toute direction ne peut être satisfaite que pour des retenues limites inférieures à 30 ou 60 mètres, suivant que le profil est rectangulaire ou triangulaire ; pratiquement, que sous une charge d'eau de 20 à 30 mètres au plus.

Nous avons vu que, pour les retenues supérieures à celles qui viennent d'être définies, si l'on conservait au profil d'un barrage sa forme triangulaire ou rectangulaire, on ne pourrait réaliser la condition de non-glissement

qu'en élevant la maçonnerie au-dessus du niveau de l'eau. En fait, un barrage est toujours un peu plus élevé



que le plan d'eau et a en couronne une certaine épaisseur, notablement inférieure à son empattement. Sa section transversale MNPBA est donc intermédiaire, comme forme générale, entre le triangle et le rectangle ; mais l'adjonction du massif SMNP au triangle SAB est favorable à la résistance, si les verticales passant par les centres de gravité de ces deux figures sont voisines l'une de l'autre, parce que, sans augmenter notablement la charge totale sur AB, elle en provoque une répartition plus avantageuse puisqu'elle accroît la pression amont et réduit la pression aval. Il n'en serait autrement que si la hauteur SA de la retenue était faible et s'il fallait néanmoins, par

suite des nécessités de la construction, donner une largeur un peu grande au couronnement MN.

Remarquons d'ailleurs que, dans un profil triangulaire chargé jusqu'au sommet, la pression n', normale à l'extrémité amont d'un joint, est égale à la pression de l'eau, y, multipliée par un coefficient constant; — que, dans un profil rectangulaire, le rapport $\frac{n'}{y}$ décroît quand y augmente. Voyons comment varie ce rapport dans une section quelconque et, à cet effet, envisageons son expression générale :

$$\frac{n'}{y} = \frac{4\varepsilon - 6(\varepsilon - \delta)}{\varepsilon} \times \frac{N}{\varepsilon y} = \frac{4k\varepsilon\int\varepsilon dy - 3k\int\varepsilon^2 dy - y^3}{\varepsilon^2 y}.$$

$\frac{d\frac{n'}{y}}{dy}$ est de même signe que :

$$2y\frac{d\varepsilon}{dy}\left(y^3 - 2k\varepsilon\int\varepsilon dy + 3k\int\varepsilon^2 dy\right) - 4k\varepsilon^2\int\varepsilon dy + 3k\varepsilon\int\varepsilon^2 dy + k\varepsilon^3 y - 2\varepsilon y^3$$

$\frac{n'}{y}$ sera donc décroissant si l'on a :

$$\frac{d\varepsilon}{dy} < \frac{4k\varepsilon^2\int\varepsilon dy - 3k\varepsilon\int\varepsilon^2 dy - k\varepsilon^3 y + 2\varepsilon y^3}{2y\left(y^3 - 2k\varepsilon\int\varepsilon dy + 3k\int\varepsilon^2 dy\right)}.$$

A la partie supérieure du barrage, où le profil peut être assimilé à un rectangle, cette inégalité devient :

$$\frac{d\varepsilon}{dy} < \frac{\varepsilon y}{y^2 + k\varepsilon^2};$$

vers la base, où la section se rapproche beaucoup d'un triangle :

$$\frac{d\varepsilon}{dy} < \frac{\varepsilon}{y}.$$

Ladite inégalité pourra donc être satisfaite, sur toute la hauteur du barrage, en choisissant convenablement le profil du parement d'aval qui, vertical immédiatement en contre-bas du couronnement, devra ensuite tourner sa convexité vers l'amont, puis se terminer par une ligne droite dont le prolongement rencontre le parement d'amont au-dessus du niveau de la retenue.

S'il en est ainsi, le rapport de la pression élastique n' à la pression de l'eau, supérieur à l'unité dans le plan de base, ira en augmentant de la base au sommet et sera certainement plus grand que $\frac{k}{2}$ vers le couronnement(*) où le profil est sensiblement rectangulaire et où, par suite, pas plus qu'en contre-bas, il n'y aura extension en aucun point de la maçonnerie.

De tout ce qui précède, nous croyons pouvoir tirer la conclusion générale suivante :

Si, dans un barrage de réservoir en maçonnerie à parement d'amont vertical (**), la pression élastique n', normale à l'extrémité amont du plan de base, est au moins égale à la pression de l'eau y en ce point ; si, d'autre part, la distance du centre de gravité de la section transversale au parement d'amont est peu différente du tiers de l'empattement du barrage ; si, enfin, le parement d'aval se profile tout entier, sans jarrets, en aval de la ligne droite joignant au niveau de l'eau l'extrémité aval du joint de base ; la stabilité de toutes les parties de l'ouvrage sera assurée pour les hauteurs de retenue inférieures à 30 mètres environ (Voir *Note annexe n°* II).

Pour les retenues plus élevées, le rapport $\frac{n'}{y}$ devra aller

(*) $\frac{n'}{y}$ tend en effet vers k lorsque y tend vers zéro, quelle que soit la forme du parement d'aval, pourvu que le barrage ait une certaine largeur en couronne.

(**) Voir *Note annexe n°* I.

en croissant avec la profondeur totale de l'eau : il conviendra donc à la fois d'augmenter l'empattement du barrage et de le charger au sommet, afin de satisfaire à la condition de non-glissement dans le plan de base dont la réalisation seule suffira, en général, pour donner toute sécurité.

On pourra, d'ailleurs, vérifier si cette dernière condition est remplie à l'aide des formules approximatives que nous avons établies, dans une note insérée aux *Annales des Ponts et Chaussées* (année 1898, 2e trimestre), en admettant qu'entre le plan de base et une section horizontale voisine les pressions élastiques normales aux deux extrémités d'un joint sont des fonctions linéaires de la hauteur de l'eau au-dessus de ce joint.

Épinal, le 6 octobre 1898.

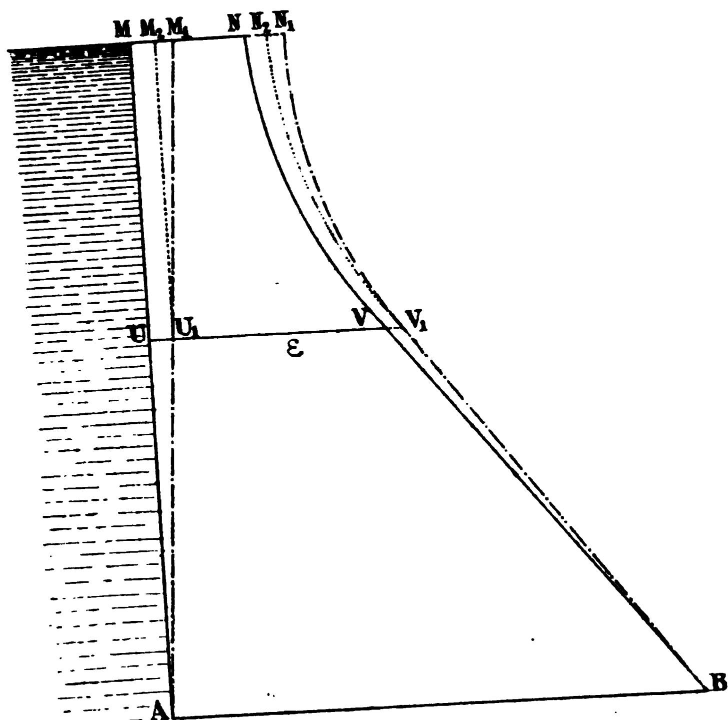
NOTE ANNEXE N° I.

Nous n'avons envisagé, dans les développements qui précèdent, que des profils de barrages à parement d'amont vertical. C'est d'ailleurs la forme qui, pour un cube déterminé de maçonnerie, donne pratiquement la meilleure répartition des charges, comme le montrent les considérations ci-après.

Soit MNBA la section transversale d'un barrage, à parement d'amont vertical, chargé jusqu'au niveau du couronnement ;

M_1N_1BA, une autre section telle que chaque joint horizontal ait la même largeur que le joint correspondant ε du profil MNBA ; Δ, la distance du centre de gravité de MNVU au parement d'amont ; Δ_1, la distance du centre de gravité de $M_1N_1V_1U_1$ à la verticale M_2U_1 ; s, la surface $M_2M_1U_1$; d, la distance de son centre

de gravité à la verticale M_2U_1 ; les autres notations étant les mêmes que ci-dessus.



Nous aurons, dans le profil MNVU :

$$n' = \frac{2N(2\varepsilon - 3\Delta) - y^3}{\varepsilon^2}.$$

Dans le profil $M_1N_1V_1U_1$:

$$n'_1 = \frac{2(N+s)\left(2\varepsilon - 3\,\frac{N\Delta_1 + sd}{N+s}\right) - y^3}{\varepsilon^2}.$$

$n' - n'_1$ est de même signe que :

$$(1) \quad N(2\varepsilon - 3\Delta) - (N+s)\left[2\varepsilon - 3\,\frac{N\Delta_1 + sd}{N+s}\right] = 3N(\Delta_1 - \Delta) + s(3d - 2\varepsilon).$$

Mais si ε_c est la largeur du joint au niveau du centre de gravité du triangle curviligne $M_2M_1U_1$, Δ_1 et Δ sont liés par la relation :

$$N\Delta_1 = N\Delta + ks\varepsilon_c,$$

et l'expression (1) est de même signe que :

$$d + k\varepsilon_c - \frac{2\varepsilon}{3}.$$

Or k est plus grand que 2; ε_c est plus grand que $\frac{\varepsilon}{3}$ si, comme toujours dans la pratique, le parement curviligne d'amont tourne sa convexité vers l'aval. — Donc n'_1 est plus petit que n'. — Et comme $n'_1 + n''_1 = \frac{2(N+s)}{\varepsilon}$ est plus grand que $n' + n'' = \frac{2N}{\varepsilon}$; n''_1 est plus grand que n''. — D'où il résulte que l'inclinaison donnée au parement d'amont diminue la compression en amont de chaque joint et augmente la compression en aval, double modification défavorable à la résistance.

D'après la formule de M. Bouvier, les compressions maxima ont respectivement pour valeurs :

$$n''\left(1 + \frac{y^4}{4N^2}\right); \qquad n''_1\left[1 + \frac{y^4}{4(N+s)^2}\right]$$

$$n''_1\left[1 + \frac{y^4}{4(N+s)^2}\right] - n''\left(1 + \frac{y^4}{4N^2}\right)$$
$$= (n' - n'_1) + \frac{2s}{\varepsilon}\left[1 - \frac{y^4}{4N(N+s)}\right] + \frac{y^4[n'(N+s)^2 - n'_1N^2]}{4N^2(N+s)^2}.$$

Le premier et le troisième terme de cette expression sont positifs. Il en est de même du second, car le poids N de la maçonnerie est toujours plus grand que la pression de l'eau $\frac{y^2}{2}$. Donc la compression maxima est plus forte dans le barrage à parement d'amont curviligne que dans le profil à parement d'amont vertical.

D'après la formule de M. Maurice Lévy, les compressions maxima aux deux parements sont, en désignant par ω_1, Ω et Ω_1 les angles que font les tangentes à ces parements avec la verticale :

$$n'\ (^*); \quad n'_1\,(1 + \text{tang}^2\omega_1)\ ; \quad n''(1 + \text{tang}^2\Omega); \quad n''_1(1 + \text{tang}^2\Omega_1).$$

(*) En admettant que la pression n' est supérieure à celle de l'eau au même point.

La différence $n' - n'_1(1 + \tang^2 \omega_1)$ pourrait être négative si la courbe du parement d'amont présentait un jarret; mais elle sera positive si tang ω_1 satisfait en tout point à l'inégalité :

$$6\varepsilon\left(d + k\varepsilon_c - \frac{2\varepsilon}{3}\right)(1 + \tang^2\omega_1) - [2N(2\varepsilon - 3\Delta) - y^3]\tang^2\omega_1 > 0.$$

Sans vouloir complètement discuter cette relation, bornons-nous à montrer qu'elle est toujours satisfaite lorsque, le parement d'amont étant rectiligne, les dimensions du profil ne sont pas exagérées. Le premier membre devient en effet, au facteur tang ω_1 près, si ω_1 est constant sur toute la hauteur du barrage :

$$y^3 \mathrm{tg}^3\omega_1 + (3k\varepsilon_c - 2\varepsilon)y^2 \mathrm{tg}^2\omega_1 + 2[y^3 - N(2\varepsilon - 3\Delta)]\mathrm{tg}\,\omega_1 + (3k\varepsilon_c - 2\varepsilon)y^2.$$

Tous les termes de cette expression sont positifs si y^3 est plus grand que $N(2\varepsilon - 3\Delta)$. Sinon il suffira, pour que leur somme soit positive, quelle que soit la valeur de ω_1, que les racines en tang ω_1 du polynôme formé par les trois derniers soient imaginaires, ou que l'on ait :

$$N(2\varepsilon - 3\Delta) - y^3 < (3k\varepsilon_c - 2\varepsilon)y^2.$$

Dans un profil triangulaire :

$$2\frac{y^2}{\varepsilon^2} + 2(k-2)\frac{y}{\varepsilon} - k > 0,$$

ou :

$$\frac{y}{\varepsilon} > \frac{-(k-2) + \sqrt{k^2 - 2k + 4}}{2}.$$

Dans un profil rectangulaire :

$$2\frac{y^2}{\varepsilon^2} + 2(3k-2)\frac{y}{\varepsilon} - k > 0,$$

ou :

$$\frac{y}{\varepsilon} > \frac{-(3k-2) + \sqrt{9k^2 - 10k + 4}}{2}.$$

Rapprochant ces conditions de celles que nous connaissons déjà : $\frac{y^2}{\varepsilon^2} < k - 1$ (triangle); $\frac{y^2}{\varepsilon^2} < \frac{k}{2}$ (rectangle); on trouve :

Pour $k = 2$ { triangle................. $\frac{y^2}{\varepsilon^2} = 1$
rectangle................ $1 > \frac{y^2}{\varepsilon^2} > 0{,}06$

Pour $k = 2,5$ $\begin{cases} \text{triangle} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 1,50 > \dfrac{y^2}{\varepsilon^2} > 0,80 \\ \text{rectangle} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 1,25 > \dfrac{y^2}{\varepsilon^2} > 0,05 \end{cases}$

Enfin la différence $n_1''(1 + \text{tang}^2\Omega_1) - n''(1 + \text{tang}^2\Omega)$ est de même signe que :

$$6s\left(d + k\varepsilon_c - \frac{\varepsilon}{3}\right)(1 + \text{tg}^2\Omega_1) + [2N(\varepsilon - 3\Delta) - y^3](\text{tg}^2\Omega - \text{tg}^2\Omega_1).$$

Elle est toujours positive, dans un profil rectangulaire ($\Omega = o$; $\Omega_1 = -\omega_1$), si la différence $n' - n_1'(1 + \text{tang}^2\omega_1)$ est elle-même positive, car elle n'est autre que celle-ci augmentée de

$$\frac{2}{\varepsilon}[s + (N + s)\,\text{tang}^2\omega_1].$$

Dans un profil triangulaire, $\text{tang}\,\Omega - \text{tang}\,\Omega_1 = \text{tang}\,\omega_1$, et l'expression ci-dessus devient, à un facteur positif près :

$$(k\,\text{tang}\,\Omega - \text{tang}\,\Omega_1)(1 + \text{tang}^2\Omega_1) - (\text{tang}\,\Omega + \text{tang}\,\Omega_1)$$

ou :

$$-\text{tang}^3\Omega_1 + k\,\text{tang}\,\Omega\,\text{tang}^2\Omega_1 - 2\,\text{tang}\,\Omega_1 + (k-1)\,\text{tang}\,\Omega.$$

Pour $\Omega_1 = \Omega$, elle est de même signe que :

$$(k-1)\,\text{tang}^2\Omega + k - 3,$$

c'est-à-dire positive, puisque k est plus grand que 2 et $\text{tang}^2\Omega$ plus grand que $\frac{1}{k-1}$. — Sa dérivée par rapport à $\text{tang}\,\Omega_1$, changée de signe : $3\,\text{tang}^2\Omega_1 - 2k\,\text{tang}\,\Omega\,\text{tang}\,\Omega_1 + 2$ est positive, pour toute valeur de Ω_1, si ses racines sont imaginaires, de sorte que la différence $n_1''(1 + \text{tang}^2\Omega_1) - n''(1 + \text{tang}^2\Omega)$ croît lorsque Ω_1 diminue, et demeure par suite positive, si l'on a :

$$\text{tang}^2\Omega < \frac{6}{k^2},$$

ou :

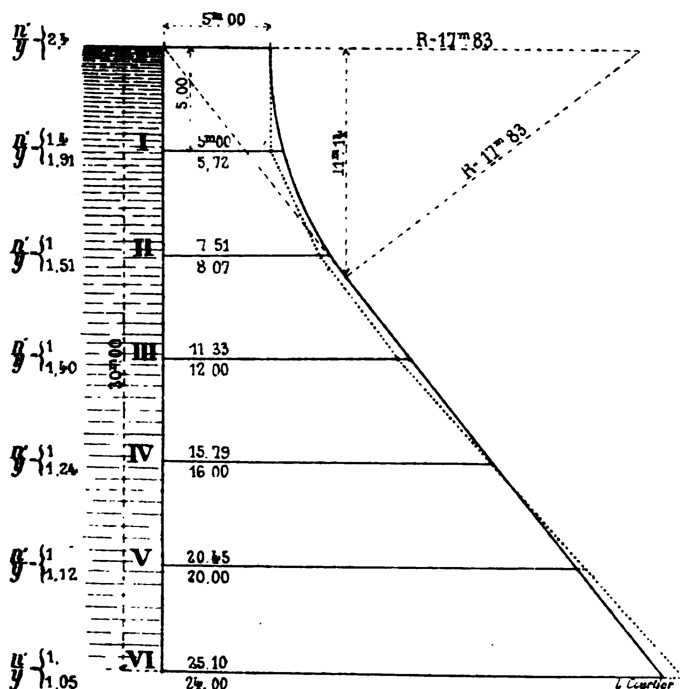
$$k - 1 > \frac{y^2}{\varepsilon^2} \cdot \frac{k^2}{6}.$$

Pour $k = 2$: $\quad 1 > \dfrac{y^2}{\varepsilon^2} > \dfrac{2}{3}$

Pour $k = 2,5$: $\quad 1,50 > \dfrac{y^2}{\varepsilon^2} > 1,04.$

NOTE ANNEXE N° II.

Nous produisons ci-après, pour une retenue de 30 mètres, une largeur en couronne de 5 mètres et un poids spécifique $k = 2,4$, un profil de barrage à parement d'amont vertical répondant aux



conditions de résistance définies par M. l'Inspecteur Général Maurice Lévy.

$\frac{n'}{y}$, qui tend vers k lorsque y tend vers zéro, doit être au moins égal à $\frac{k}{2}$ dans toute la partie supérieure rectangulaire du

barrage, dont la hauteur limite est dès lors : $\frac{\sqrt{2k}}{2} = 5^m,48$, soit 5 mètres. — Divisant le profil en six tranches de 5 mètres chacune, nous avons déterminé la largeur de chaque joint, à partir du second, de telle sorte que le rapport $\frac{n'}{y}$ soit exactement égal à l'unité et trouvé les dimensions correspondant au tracé pointillé du parement d'aval (cotes supérieures du croquis).

La surface du profil ainsi obtenu est de 376 mètres carrés.

En substituant à la ligne brisée pointillée le tracé plein, formé d'une ligne droite joignant l'extrémité aval de la base (largeur, 24 mètres) à l'extrémité amont du couronnement et d'un arc de cercle de $17^m,83$ de rayon, on obtient un profil de 381 mètres carrés (cotes inférieures) dont les conditions de stabilité en charge sont au moins aussi satisfaisantes. A vide, le profil pratique vaut mieux que le profil théorique, car le centre de gravité du second est à une distance de $7^m,92$ du parement d'amont, inférieure de 5,38 0/0 au tiers de l'empattement ($25^m,10$) de la base, tandis que celui du premier en est à $7^m,78$, différent de 2,75 0/0 seulement du tiers de 24 mètres.

Remarquons, en terminant, que la surface de 380 mètres carrés environ est presque exactement celle d'un triangle de $25^m,35$ de base et 30 mètres de hauteur, dans lequel $\frac{n'}{y}$ est égal à l'unité.

Épinal, le 6 octobre 1898.

N° 6

NOTES (*)

SUR LA

CONSTRUCTION DU VIADUC DU VIAUR

(LIGNE DE CARMAUX A RODEZ)

Par M. THÉRY, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Les *Annales des Ponts et Chaussées* ont déjà publié plusieurs notes sur les travaux d'exécution du viaduc du Viaur (ligne de Carmaux à Rodez). Étant donnée l'importance de cet ouvrage, nous avons pensé que, sans attendre la fin des travaux et malgré les avantages qu'aurait offerts une notice unique sur le viaduc, il y avait intérêt à faire connaître aux Ingénieurs les études diverses auxquelles il a donné lieu et à leur présenter une description détaillée de la construction à exécuter. Connaissant mieux les détails et les particularités de cette construction, il leur sera plus facile de se rendre compte des difficultés d'exécution et d'apprécier les moyens employés pour les résoudre.

La présente Note n'est donc qu'une étude technique du viaduc du Viaur. Elle est divisée en quatre parties :

1° Historique des études ;
2° Description de l'ouvrage ;
3° Calculs ;
4° Observations et conclusions techniques.

(*) Voir la 2e note, 2e trimestre 1898, p. 329.

La première partie pourra paraître bien étendue. Malgré notre désir d'être bref, nous avons cru devoir la développer.

Les études du viaduc du Viaur ont été très longues et très variées. De très nombreux projets ont été étudiés, et les discussions critiques qui, avant l'adoption en 1889 du projet de la Société des Batignolles, se sont élevées à leur sujet entre des ingénieurs distingués et compétents, comportent un enseignement très instructif, dont nous croyons devoir faire profiter les lecteurs des *Annales*.

PREMIÈRE PARTIE.

HISTORIQUE.

I. **Avant-projets pour la Déclaration d'utilité publique** (Pl. 1). — Une décision ministérielle du 7 avril 1876, relative à la ligne de Carmaux à Rodez, prévoyait que les études de cette ligne devaient être dirigées dans les conditions d'une stricte économie. A cet effet, le minimum des rayons des courbes pouvait être abaissé à 300 mètres, et le maximum des pentes porté à 20 millimètres par mètre, si des circonstances exceptionnelles l'exigeaient.

Deux études sommaires faites pour la traversée du Viaur avec rampes de 16 millimètres par les ravins de la Gasquié et de la Branche pour la première, par ceux de la Gasquié et de Bertrazès pour la deuxième, aboutirent à des impossibilités.

La limite de 20 millimètres ne fut pas même jugée suffisante. Les torrents qui aboutissent au Viaur ont un développement trop faible pour qu'en les suivant on puisse s'abaisser beaucoup et traverser ainsi la vallée principale

à faible hauteur. On dut porter la pente à 25 millimètres par mètre, et. malgré cela, la traversée se faisait encore, dans le premier tracé adopté, au moyen d'un viaduc de 82 mètres de hauteur. Présenté le 4 février 1878 à l'Administration supérieure, il fut approuvé par elle et servit tout d'abord de base pour les enquêtes réglementaires, en vue de la déclaration d'utilité publique.

Premier tracé (Pl. p. 60 *bis*). — Il quittait le plateau (Tarn) au hameau de la Cabane pour se jeter dans le ravin de Tanus qu'il côtoyait jusqu'au Viaur. Cette rivière était franchie au confluent du ravin de Rivassés, dans la vallée duquel il pénétrait par un souterrain de 150 mètres (contrefort de Cebayrols) et qu'il remontait jusqu'à sa naissance pour entrer ensuite dans un tunnel de 1.234 mètres de longueur et rejoindre les plateaux par la vallée d'Esclauzels. Les déclivités aux abords du Viaur étaient de 25 millimètres sur 2.700 mètres du côté Carmaux et 3.750 mètres du côté Rodez.

La traversée se faisait au moyen d'un viaduc en maçonnerie de 82 mètres de hauteur, placé sur une courbe de 400 mètres de rayon et comportant huit arches de 22 mètres d'ouverture ; sa longueur totale était de 236 mètres, et son élévation superficielle de 11.695 mètres carrés.

C'était, comme le montrent ces données, un ouvrage en maçonnerie tout à fait exceptionnel et présentant des difficultés d'exécution d'autant plus grandes que le pays est assez pauvre en matériaux de construction. Les micaschistes que l'on traverse (et qui n'étaient pas connus à ce moment comme ils le sont aujourd'hui) peuvent fournir d'excellents matériaux de blocage (roches gneissiques, bleues, très dures et très compactes) ; mais leur prix de revient est relativement élevé ; en outre, ils ne peuvent se tailler et, même avec l'*opus incertum* (que les constructeurs n'admettaient guère à cette époque), nous

croyons qu'ils ne pourraient que très difficilement fournir du moellon de parement. Il aurait donc fallu aller chercher celui-ci, ainsi que la pierre de taille et le moellon d'appareil, au loin, à Bruniquel ou Lexos, très probablement. Si l'on ajoute à cela que le sable est assez rare dans le Viaur, que son extraction et son transport coûtent cher, on peut se rendre compte que le prix de revient moyen de la maçonnerie pour un tel viaduc eût été assez élevé, et nous pensons que le chiffre de 150 francs par mètre carré superficiel, qui a été adopté dans le devis estimatif, est plutôt au-dessous de la réalité.

Tel que, ce viaduc était évalué à

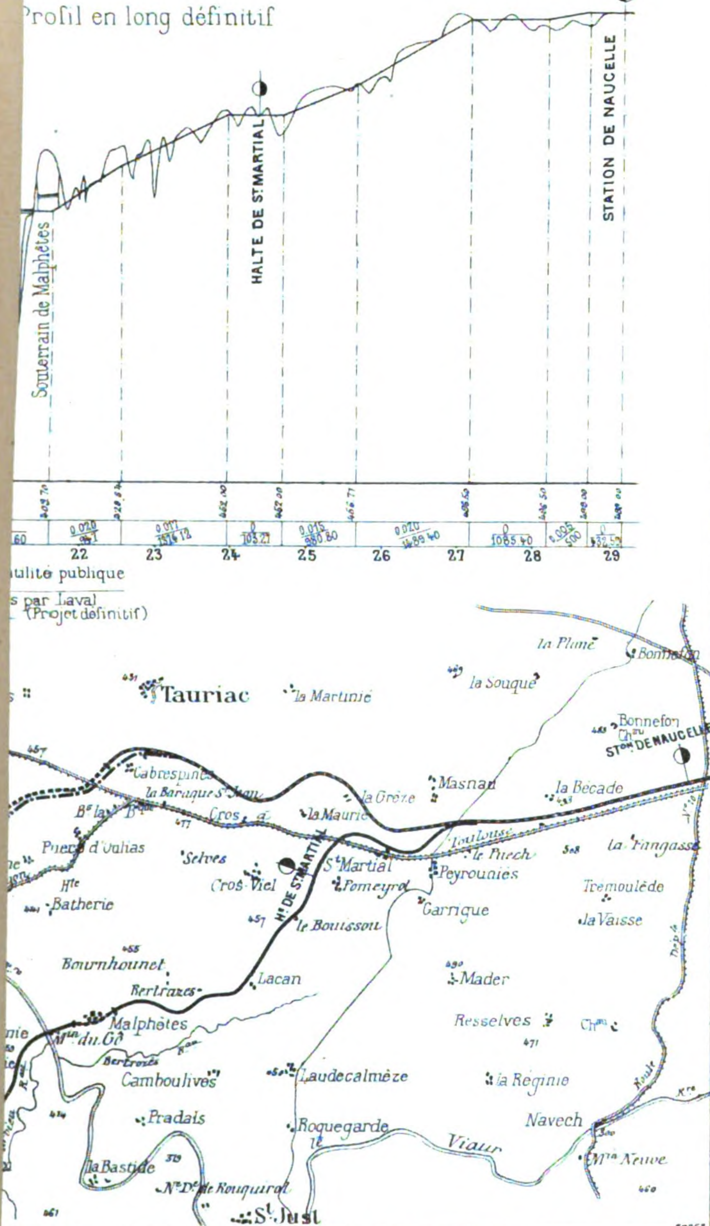
$$11.695 \times 150 = 1.754.250 \text{ francs.}$$

Deuxième tracé. — Pendant que ce tracé était soumis aux enquêtes pour la déclaration d'utilité publique, les études continuèrent, et une seconde traversée fut examinée.

Elle se détachait du tracé précédent un peu avant le hameau de la Cabane, longeait quelque temps la route nationale n° 88, pénétrait dans le ravin de la Gasquié, en suivait le flanc droit (la route nationale étant sur le flanc gauche), traversait le Viaur un peu en amont du confluent, au hameau de Laval, et longeait cette rivière pour rejoindre le ravin de Rivassès dans lequel elle pénétrait par un souterrain de 243 mètres de longueur, à Cébayrols. Elle suivait ensuite le flanc gauche de ce ravin, pénétrait sans souterrain dans la vallée d'Esclauzels et se raccordait au tracé principal dans la partie supérieure de cette vallée.

La traversée du Viaur se faisait en grande partie en ligne droite, au moyen d'un viaduc mixte comprenant deux viaducs d'accès en maçonnerie de 51 mètres de longueur (trois arches de 12 mètres) et une poutre métallique à quatre travées solidaires de 50 mètres et 45 mètres de

ction du viaduc du viaur



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

portée. Les piles supportant cette poutre étaient mixtes, La hauteur de la voie au-dessus de la rivière était, comme précédemment, de 82 mètres. La longueur totale de l'ouvrage atteignait 292 mètres, et son élévation superficielle 14.015 mètres carrés. Le coût du viaduc, à raison de 150 francs le mètre superficiel, était donc de 2.115.750 francs.

Les avantages de cette variante étaient les suivants :

1° Économie d'environ 1.000.000 de francs ;

2° Établissement facile d'une station à la Cabane (vœu des Commissions d'enquête). Cet établissement n'était guère possible avec le premier tracé ;

3° Possibilité de faire sur le Viaur un viaduc métallique et, par suite, plus économique ;

4° Suppression de 876 mètres de tunnel et d'une tranchée profonde dans le ravin de Rivassès ;

5° Substitution de pentes notablement inférieures à 25 millimètres sur 1.108 mètres de longueur ;

6° Substitution dans les tunnels de pentes inférieures à 19 millimètres aux pentes maxima de 25 millimètres ;

7° Diminution de $4^{m},77$ dans l'abaissement total et, par conséquent, dans l'élévation totale de la ligne.

La variante comportait, il est vrai, un allongement de parcours de 1.646 mètres. Ce n'était pas suffisant pour détruire les avantages qui précèdent. Si on tient compte d'ailleurs que, pour l'évaluation du viaduc du Viaur, on avait conservé le prix de 150 francs par mètre carré superficiel précédemment admis, chiffre élevé avec une solution métallique, l'économie de 1.000.000 de francs, signalée plus haut, aurait été dépassée et très probablement augmentée de 425.000 francs (en admettant 120 francs par mètre carré superficiel pour le viaduc).

Cette variante, soumise à l'Administration supérieure au mois de mars 1879, fut adoptée et substituée à la partie correspondante du tracé soumis aux enquêtes. Le

tracé ainsi modifié fut déclaré d'utilité publique par la loi du 27 décembre 1879.

II. **Projets de tracé et terrassements** (Pl. 1). — Dans l'intervalle, et au cours d'une tournée annuelle d'inspection, M. l'Inspecteur général Croizette-Desnoyers avait appelé l'attention des ingénieurs sur les avantages que pourrait présenter, pour la traversée du Viaur, l'adoption d'une solution métallique du type Eiffel, analogue à celle qui avait été exécutée sur le Douro, à Porto, et qui venait d'être approuvée en principe pour le viaduc de Garabit.

De nouvelles études furent donc entreprises. Elles s'étendirent à tout le tracé, car la nouvelle solution, en permettant de traverser le Viaur à plus grande hauteur, conduisit à abaisser de 25 millimètres à 20 millimètres (chiffre prévu par la décision ministérielle du 7 avril 1876) le maximum des déclivités. Au point de vue de l'exploitation, c'était un avantage notable. En ce qui concerne particulièrement la traversée du Viaur, ces études conduisirent à deux variantes.

Si on examine une carte avec courbes de niveau, on constate, en effet, que la vallée du Viaur présente deux étranglements également favorables à l'établissement d'un viaduc. L'un se trouve un peu au-dessus du pont de Tanus, au lieu dit Laval; c'est en ce point, comme nous l'avons vu, que le tracé déclaré d'utilité publique franchissait la rivière. L'autre se trouve à 2 kilomètres environ en amont du premier, un peu en aval du confluent du Viaur et du ruisseau d'Arvieu, au lieu dit moulin du Gô.

Les variantes étudiées correspondent à chacun de ces deux points de passage et constituent le dossier du projet de tracé et terrassements.

Premier projet par Laval. — La première variante suivait, comme direction générale, le tracé déclaré d'utilité publique. Elle quittait le plateau aussitôt après la station

de la Cabane, longeait le ruisseau de la Gasquié, traversait le Viaur au hameau de Laval, allait rejoindre le ravin de Rivassès, puis la vallée d'Esclauzelt et regagnait ensuite sur les plateaux, dans l'Aveyron, la route nationale n° 88.

La traversée du Viaur se faisait à une hauteur de 97m,50 au-dessus de l'étiage, au moyen de poutres continues, soutenues, d'une part, par des piles métalliques et des culées en maçonnerie, d'autre part, par un arc genre Garabit, de 135 mètres d'ouverture et 53m,50 de flèche. Les poutres continues se composaient d'une poutre centrale de 67 mètres reposant sur la clef et les reins de l'arc et de deux poutres latérales comportant chacune une travée de 44 mètres et deux travées de 40 mètres. On avait donc, en tout, une longueur de 315 mètres pour la partie métallique. La longueur totale de l'ouvrage, y compris les culées en maçonnerie, était de 360 mètres. Son élévation superficielle comportait 21.621 mètres carrés.

Cette solution étant évaluée au projet de tracé et terrassements à raison de 92 fr. 50 le mètre carré, coûtait 2.000.000 francs.

Deuxième projet par le Gô. — La seconde variante se détachait du tracé principal aussitôt après la station de la Cabane. Elle rejoignait le ravin d'Arvieu, dont elle longeait le flanc gauche, traversait le Viaur au moulin du Gô, passait en souterrain sous le hameau de Malphètes, rejoignait ainsi le ravin de Bertrazès dont elle remontait la rive droite jusqu'à la route nationale n° 88 et se raccordait avec le tracé déclaré d'utilité publique aux environs du hameau des Peyrouniès.

Dans cette solution, la traversée du Viaur se faisait à 110 mètres au-dessus de l'étiage, au moyen, comme ci-dessus, de poutres continues soutenues, d'une part, par des piles métalliques et des culées en maçonnerie,

d'autre part, par un arc genre Garabit de 150 mètres de portée et 61^{m},25 de flèche. Les poutres continues se composaient d'une poutre centrale de 72 mètres, reposant sur la clef et les reins de l'arc et de deux poutres latérales comportant l'une une travée de 48 mètres, et l'autre deux travées de 45 mètres. On avait donc, en tout, une longueur de 300 mètres pour la partie métallique. La longueur totale de l'ouvrage, y compris les culées en maçonnerie, était de 378 mètres. Son élévation superficielle comportait 23.793 mètres carrés.

Cette solution, étant évaluée au projet de tracé et terrassements à raison de 92 fr. 50 (*) le mètre carré, coûtait 2.200.853 francs.

Les avantages de cette seconde variante sur la première consistaient en :

1° Une diminution de longueur de 877 mètres dans le tracé ;

2° Une économie de 432.000 francs ;

3° Une diminution de 15 mètres dans l'abaissement total de la ligne et, par conséquent, dans son élévation totale.

Ces deux solutions furent soumises à l'Administration supérieure et une Décision du 24 décembre 1881 approuva le tracé par le moulin du Gô, sous réserve que le projet du viaduc du Viaur serait soumis séparément à l'approbation de M. le Ministre des Travaux publics avec toutes les justifications nécessaires des dispositions proposées.

III. **Avant-projets d'exécution du viaduc** (Pl. 1). — Le moment était donc venu de préparer la solution définitive, et M. l'Ingénieur Berget, qui était chargé du service de la ligne de Carmaux à Rodez, se mit à l'œuvre.

(*) Étant donnée la rareté des matériaux pour la construction des culées et des soubassements des piles, ce prix était peut-être un peu faible, aussi bien pour un projet que pour l'autre.

Sans se limiter aux solutions type Garabit, il étudia, sous la direction de M. l'Ingénieur en Chef Pacull, toute une série de viaducs et, le 31 août 1885, présenta un certain nombre de solutions différentes. Nous n'entrerons pas dans le détail de tous les projets présentés, et nous nous contenterons de résumer, dans leurs lignes générales, les caractéristiques des différents types étudiés.

DESCRIPTION DES AVANT-PROJETS. — *Projets I et I bis.* — Les dispositions générales de ce projet ne diffèrent de celles qui ont été prévues dans le projet de tracé et terrassements que par l'augmentation de longueur du tablier métallique, augmentation qui a pour but de réduire l'importance des maçonneries.

Deux solutions ont été étudiées, l'une (I) avec piles en maçonnerie, l'autre (I *bis*) avec piles en métal. Les données principales de l'ouvrage sont les suivantes :

I. Cote des rails	405m,50
Hauteur au-dessus du fond de la vallée...	111 ,00
Ouverture de l'arc central	150 ,00
Flèche	65 ,50
Ouverture des travées sur l'arc	60 ,00
— latérales quatre de.	50 ,50
— — deux de...	55 ,50
Longueur des culées en maçonnerie (avec une arche de 15 mètres)	34 ,50
Longueur totale de la partie métallique ..	373 ,00
— l'ouvrage	442 ,00
Hauteur maxima des piles	71 ,00
Surface du vide à franchir	25.614m2,00
Estimation	2.565.000 fr.

PARTICULARITÉS. — Voie en contre-bas des semelles supérieures des poutres. — Tablier impénétrable aux machines déraillées.

Métal prévu : Fer.

Calculs de résistance : néant. — Estimation faite par comparaison avec le viaduc de Garabit.

I *bis*. Hauteur maxima des piles : partie métallique	63m,50
Hauteur maxima des piles : totale	71 ,00
Estimation	2.325.000 fr.

Les autres données : Comme au projet I.

Projets II, II', II bis. — Ce projet devait comporter un tablier métallique horizontal supporté par un nombre d'appuis suffisant pour que l'opération du lançage ne présentât pas de difficultés exceptionnelles. A cet effet, le tablier comprenait cinq travées solidaires, trois centrales de 66m,50 d'ouverture et deux de rive de 52m,50. Les deux premières variantes sont avec piles en maçonnerie, la troisième avec piles métalliques.

Les données de ces projets sont les suivantes :

II et II'. Ces deux solutions ne diffèrent que par les piles qui, dans la deuxième solution, sont renforcées pour mieux résister au vent.

Cote des rails	405m,50
Hauteur au-dessus du fond de la vallée	111 ,00
Ouverture des travées : trois centrales de	66 ,50
— deux de rive de	52 ,50
Longueur des culées en maçonnerie (avec deux arches de 15 mètres)	55 ,00
Longueur totale de la partie métallique	304 ,50
Longueur totale de l'ouvrage	414 ,50
Hauteur maxima des piles	99 ,00
Surface du vide à franchir	25.614m²,00
Estimation	2.000.000 et 2.520.000 fr.

Particularités. — Voie au niveau des semelles supérieures des poutres. — Tablier en tôle striée.

Métal prévu : Fer.

BASES DES CALCULS.

	Kilogr.
Poids permanent	3.600 par mètre linéaire.
Surcharge	3.600 —
Vent	150 par mètre carré avec surcharge.
—	270 par mètre carré sans surcharge
Coefficient de travail du fer	6 par millimètre carré
Coefficient des maçonneries.	9kg,15 par centimètre carré (sans vent), et 15 kg. (avec vent) pour II
—	10kg,52 — II'

II *bis*. Hauteur maxima des piles : partie métallique.	77m,60
— totale...........	101 ,60
Estimation................................	2.200.000 fr.

Les autres données : Comme aux projets II et II'.

Projet III. — Les dispositions de cet ouvrage sont semblables à celles du viaduc de la Tardes. Il se compose d'un tablier métallique supporté par deux piles en maçonnerie et deux viaducs également en maçonnerie formant culées. Le tablier comprend donc trois travées solidaires. Les données du projet sont :

Cote des rails portée à	412m,00 (*)
Hauteur au-dessus du fond de la vallée...	118 ,00
Ouverture des travées : une centrale de..	132 ,24
— deux de rive de..	101 ,42
Longueur des culées en maçonnerie (avec deux arches de 16 mètres)............	51 ,20
Longueur totale de la partie métallique.	335 ,08
Longueur totale de l'ouvrage............	437 ,48
Hauteur maxima des piles	85 ,50
Surface du vide à franchir..............	30.492m²,50
Estimation............................	2.520.000 fr.

(*) Cette surélévation du rail était nécessaire pour obtenir des plateformes de lançage ne donnant pas lieu à l'ouverture, dans chacun des flancs de la vallée, de tranchées trop fortes.

PARTICULARITÉS. — Voie en contre-bas des semelles supérieures des poutres. — Tablier impénétrable aux machines déraillées.

Métal prévu : Acier.

BASES DES CALCULS.

	Kilogr.	Kilogr.
Poids permanent.	4.000	et 4.500 par mètre courant suivant les travées
Surcharge.......	3.080	et 3.200 par mètre courant suivant les travées
Vent............	150	par mètre carré, avec surcharge
—	270	par mètre carré, sans surcharge
Coefficient de travail de l'acier..		8^{kg},500 par millimètre carré,
— des maçonneries......................		7^{kg},74 par centimètre carré (sans vent) et 12 ,45 (avec vent).

Projets IV et IV bis. — Ces projets, qui ne diffèrent guère entre eux que par la hauteur de l'arc et l'inclinaison des fermes, se rapprochent beaucoup du pont-route Dom-Luiz Ier, construit à Porto, au-dessus du Douro, sur les plans de M. Seyrig.

Ils comportent un arc circulaire surbaissé de 220 mètres d'ouverture et 50 mètres de flèche, et deux tabliers à poutres droites, latéraux à l'arc, dont les extrémités s'appuient sur les avant-corps des viaducs-culées et dont les autres appuis sont constitués par deux piles en maçonnerie et deux palées métalliques reposant sur les reins de l'arc.

Les données essentielles de l'ouvrage sont les suivantes :

Cote des rails	407^{m},50
Hauteur au-dessus du fond de la vallée...	113 ,00
Ouverture de l'arc central	220 ,00
Flèche..............................	50 ,00

Longueurs d'arc (en projection horizontale) supportant la voie : 30,80, 23,10, 38,50, 23,10, et	$30^{m},80$
Ouverture des travées sur l'arc et piles : deux travées de..	47 ,30
— de rive : deux travées de	65 ,00
Longueur des culées en maçonnerie (avec une arche de 12 mètres)	26 ,20
Longueur totale de la partie métallique..	370 ,90
— l'ouvrage	423 ,30
Hauteur maxima des piles	46 ,30
Surface du vide à franchir	$26.692^{m2},00$
Estimation	2.310.000 fr. et 2.130.000 fr.

Particularités. — Voie au niveau des semelles supérieures des poutres. — Tablier en tôle striée.

Métal prévu : Acier pour l'arc, fer pour les piles et le tablier.

BASES DES CALCULS.

		Kilogr.	
Tabliers latéraux :	Charge permanente.	3.000	par mètre linéaire
	Surcharge	4.000	—
Tablier central :	Charge permanente.	2.200	—
	Surcharge	4.000	—
Arc :	Charge permanente.	6.000	de corde
	Surcharge	4.000	—
	Vent	150	par mètre carré avec surcharge
	—	270	par mètre carré sans surcharge
Variation de température		— 15° à + 45°	
Coefficient de travail pour l'acier.		$8^{kg},5$ par millimètre carré sans vent	
—	—	$10^{kg},5$ avec vent	

Comme nous l'avons dit, ces avant-projets furent envoyés par M. Berget à M. Pacull le 31 août 1885 (sauf le projet IV *bis*, qui est de la fin de 1885). Avant de les transmettre à l'Administration supérieure, M. l'Ingénieur

en chef Pacull demanda quelques études complémentaires; et l'on étudia les solutions suivantes :

Projet II ter. — Cinq travées en fer de 77 mètres de portée pour les travées centrales et 63 mètres pour les travées de rive. — Voie en contre-bas des semelles supérieures des poutres. — Estimation : 2.250.000 francs.

Projets V et V bis. — Sept travées en fer de 60 mètres de portée pour les travées centrales et 48 mètres pour les travées de rive. — Voie au niveau des semelles supérieures des poutres. — Piles en maçonnerie pour V, et métalliques pour V *bis*. — Estimations : 1.830.000 francs pour V, 2.114.000 francs pour V *bis*.

Projet VI. — Cinq travées solidaires en acier de 81 mètres de portée pour les travées centrales, et 72 mètres pour les travées de rive. — Voie au niveau des semelles supérieures des poutres. — Pile en maçonnerie. — Estimation : 1.725.000 francs.

De ces diverses études, la solution II *ter* seule fut soumise à l'Administration.

M. l'Ingénieur en chef Pacull communiqua également le dossier à la Compagnie du Midi pour avoir ses observations.

Discussion des avant-projets. — Les diverses opinions émises furent les suivantes :

Avis de la Compagnie du Midi. — A la Compagnie du Midi, M. le Directeur des travaux Harlé, en dehors de quelques remarques sur le tracé et le profil en long aux abords de l'ouvrage, présentait des objections au sujet :

1° De la hauteur des piles, tant en maçonnerie, dans les solutions I, II, II' et III, que métalliques dans la solution II *bis ;*

2° De l'emploi de l'acier dans les solutions III et IV, emploi qui n'était pas, suivant lui, sans danger, et nécessitait des précautions toutes spéciales;

3° De la position de la voie qui devait être prévue, comme à Garabit, suffisamment en contre-bas du niveau des semelles supérieures des poutres, de manière à ce que celles-ci s'opposent à la chute des véhicules qui viendraient à se renverser ;

4° Des moyens de visite et d'entretien, qui devaient être suffisants et pratiques.

En conséquence, il écartait : les solutions I, II, II', II *bis* et III, à cause de la hauteur des piles et, pour la dernière (*), du manque de stabilité du tablier et de l'emploi de l'acier ; la solution IV, à cause de l'emploi de l'acier, de la position prévue pour la voie et des dispositions exceptionnelles de l'arc, dispositions qui, avec de telles dimensions, n'avaient pas encore reçu la consécration de l'expérience. Il se prononçait, par suite, pour la solution I *bis*, à laquelle il demandait quelques modifications de détail.

M. le Directeur de la Compagnie Blagé s'associait aux aux conclusions de M. le Directeur des travaux, en ce qui concerne la hauteur des piles, la position de la voie et les appareils de visite et d'entretien.

Il rejetait les poutres continues à faible ouverture et signalait l'intérêt qu'il aurait pu y avoir à étudier des ponts à console du type de ceux de la Fraser-River ou du Niagara.

Sans exclure la solution IV, il notait qu'elle avait besoin d'être revue soigneusement et avec l'aide d'un constructeur exercé, tant au point de vue des détails du projet que des moyens d'exécution.

Il concluait d'ailleurs, en présence des critiques formulées et des lacunes signalées, à ce que, si l'Administration revenait sur sa décision du 24 décembre 1881 (approuvant

(*) Le tablier n'avait, en effet, que 6m,11 de base pour 11m,00 de hauteur.

en principe un type Garabit). le projet fût mis au concours, en laissant aux concurrents, sous des conditions déterminées à remplir (et en particulier celle de produire à l'appui du projet tous les calculs justificatifs, ainsi que l'exposé complet des procédés de mise en place) toute latitude de proposer telle solution qu'ils jugeraient la meilleure.

Avis de l'ingénieur ordinaire du service de la construction. — M. l'Ingénieur Berget écartait les solutions I, ou mieux II' et III, comme peu économiques, à cause de la difficulté d'avoir de bons matériaux de construction pour maçonnerie et d'exécuter dans de bonnes conditions les hautes piles prévues. En outre, pour la solution III, la construction de la travée centrale présentait, à son avis, des points très délicats provenant en particulier de l'impossibilité d'un lançage complet et de la nécessité d'exécuter une jonction centrale.

Les dénivellations des appuis provenant de l'inégale dilatation des piles ou arcs métalliques lui faisaient rejeter les solutions I *bis* et II *bis*, qui ont entre elles une certaine analogie.

La solution IV, ou mieux IV *bis*, a, disait-il, l'avantage d'être franchement métallique; son exécution ne présente pas d'aléa ni de difficultés exceptionnelles. Elle est, au contraire, économique.

En conséquence, il proposait d'adopter la solution IV *bis*.

Avis de l'ingénieur en chef du service de la construction. — M. l'Ingénieur en chef Pacull constatait d'abord que les solutions I ou I *bis* et IV n'ont pas été étudiées d'après les mêmes bases ni avec le même métal. Si, pour les rendre comparables, on refait l'évaluation en prenant les ouvrages dans des conditions identiques, les solutions I et I *bis* présentent des économies d'environ 437.000 francs et 677.000 francs par rapport à la solution IV. Celle-ci étant, en outre, ne fût-ce qu'au point de vue du montage

et de la stabilité, inférieure aux précédentes, était donc à rejeter.

Les solutions I n'étaient d'ailleurs, suivant M. Pacull, qu'une mauvaise modification de la solution II, les reins de l'arc ne constituant, en réalité, que des piles inclinées, contre-butées par la partie centrale et fonctionnant par suite dans de moins bonnes conditions que des piles verticales, qui n'auraient pas été plus longues et auraient reposé sur un rocher solide. De plus, l'avis de M. le Directeur de la Compagnie du Midi sur les poutres continues de faible ouverture et les critiques de M. le Directeur des travaux au sujet des grandes piles ne lui paraissaient pas justifiées. Il en donnait pour motifs l'exemple de grands viaducs américains (*) et celui des hautes piles en maçonnerie construites en France (**). Une poutre continue lui semblait donc préférable aux autres systèmes étudiés.

La solution III présentant de grandes difficultés et de grands dangers de mise en place, l'une des solutions II et, vu le manque de matériaux, la solution II *ter*, avec *piles métalliques*, paraissait la meilleure des diverses solutions étudiées.

Toutefois, étant donné le profil en long de la vallée, une poutre en acier à quatre travées (deux de 100 mètres et deux de 80) semblait devoir être préférée. Elle était en effet très économique et n'exigeait qu'une seule pile de hauteur exceptionnelle, sensiblement égale aux grandes piles des solutions II; les difficultés de la construction étant ainsi concentrées en un seul point, il était plus facile d'en approfondir l'étude et d'en soigner l'exécution. Étant donnée d'ailleurs, comme ci-dessus, la rareté des matériaux de construction, l'adoption des piles métalliques

(*) Viaducs de Portage, de Vacruyas, de Rinzua.

(**) Viaducs de Saint-Laurent (55 mètres), de Crueize (65 mètres), du Credo ($74^m,35$).

avec soubassement en maçonnerie s'imposait, d'autant plus que les mauvais effets de variation de température signalés par M. Berget ne sont pas aussi dangereux qu'on pourrait le croire. L'estimation de cette solution s'élevant à 1.800.000 francs en faisait ressortir l'économie.

Comme conclusions, M. Pacull reconnaissait que le choix de cette solution ne résultait que de la comparaison d'études incomplètes et se ralliait à l'idée du concours proposé par M. le Directeur de la Compagnie du Midi.

Avis de l'inspecteur général du service de la construction. — M. l'Inspecteur général des Orgeries, après avoir passé en revue les diverses solutions présentées et les diverses opinions émises, faisait ressortir les divergences considérables qui existaient entre les données ayant servi de bases à l'étude des divers projets :

« Toutes ces divergences, disait-il, introduisent dans les estimations des divers projets des perturbations qui sont bien loin d'être négligeables par rapport aux écarts pouvant provenir des différences de leur mérite économique, et aucune conclusion ferme ne saurait dès lors être tirée sûrement du rapprochement de ces estimations. »

Les difficultés pratiques d'exécution ne lui paraissaient pas non plus suffisamment étudiées pour permettre de résoudre toutes les questions en discussion.

Une seule conséquence se dégageait, suivant lui, avec une complète clarté des études faites : c'était la nécessité d'exclure, faute de matériaux de choix, les piles en maçonnerie d'une hauteur exceptionnelle.

Les conclusions de M. l'inspecteur général des Orgeries tendaient à ouvrir un concours dans des conditions bien déterminées entre divers constructeurs offrant toutes garanties et dont chacun aurait à soumettre son projet avec toutes les justifications nécessaires et en prenant l'engagement de l'exécuter aux prix de son estimation, si ce projet était agréé par l'Administration. Un cahier des

charges pour ce concours était, en même temps que ces conclusions, soumis à l'approbation de M. le Ministre des Travaux publics.

Décision. — Ces propositions furent approuvées par le Conseil général des Ponts et Chaussées et sanctionnées par une décision ministérielle en date du 18 janvier 1887. En même temps une Commission spéciale était nommée à Paris pour examiner les divers projets qui seraient présentés et donner son avis à M. le Ministre (*).

IV. **Concours pour la construction du viaduc** (Pl. 2). — Comme conséquence de la décision qui précède, un concours fut donc ouvert pour la construction du viaduc du Viaur entre divers constructeurs éprouvés et choisis à cet effet.

Conditions du concours et présentation des projets. — Les conditions du concours, indiquées par le cahier des charges cité plus haut, étaient les suivantes :

« Art. 7 : *Données générales de la rédaction du projet.* — Le viaduc sera projeté pour une seule voie, en prenant pour bases le plan et le profil en long arrêtés par l'Administration supérieure pour la traversée de la vallée et dont un exemplaire sera remis aux concurrents par l'ingénieur en chef du service de construction, M. Pacull, en résidence à Albi.

« Il consistera essentiellement en un tablier fixe en métal, compris entre des culées ou des viaducs en maçonnerie et reposant, en outre, sur des appuis intermédiaires.

(*) Cette Commission se composait de MM. Robaglia, inspecteur général des Ponts et Chaussées, *président :* des Orgeries, Ricour, inspecteurs généraux ; Hirsch, Boutillier, ingénieurs en chef, *membres ;* et Chemin, ingénieur en chef, *secrétaire*.

« Afin que les projets soient immédiatement comparables sous le rapport de la dépense, ils devront satisfaire à la condition commune que les extrémités des culées soient placées aux environs des points du profil en long où le terrain naturel est, sur l'un et l'autre versants de la vallée, à une altitude inférieure de 10 mètres à celle des rails; mais, la longueur totale de l'ouvrage une fois déterminée d'après cette condition, les concurrents la partageront comme ils l'entendront entre les culées ou viaducs en maçonnerie et le tablier métallique.

« Le nombre et la distribution des supports intermédiaires sont également laissés à leur libre choix.

« Le tablier métallique pourra être formé de deux poutres droites, continues ou discontinues, supportées, soit par des piles en maçonnerie, soit par des piles métalliques établies sur des soubassements plus ou moins élevés en maçonnerie, soit enfin par des piles métalliques et un arc central également en métal; il demeure seulement réservé que, dans le cas de l'adoption de piles en maçonnerie, les hauteurs en seront rigoureusement renfermées dans une limite compatible avec la nature et la résistance des matériaux désignés par l'auteur du projet pour leur exécution et sans que d'ailleurs elles puissent dépasser en aucun cas les plus grandes hauteurs des constructions similaires déjà existantes.

« Seront également admises au concours les poutres avec membrures supérieures et inférieures curvilignes ou polygonales, ou formant consoles sur les culées et les appuis intermédiaires.

« Quel que soit le système de tablier adopté, le projet devra satisfaire nécessairement aux conditions suivantes :

« Le dessus des rails sera à une profondeur suffisante au-dessous du point le plus bas des tables supérieures des poutres, pour que celles-ci fassent par elles-mêmes

gardes-corps et retiennent sur le plancher les véhicules déraillés.

« La largeur libre entre les faces internes des membrures des poutres, des barres de treillis ou des montants verticaux sera d'au moins 4^m,50, et des refuges seront ménagés en dehors de cette largeur, à des intervalles d'au plus 25 mètres d'une rive à l'autre.

« Le plancher du tablier métallique sera rendu impénétrable à une machine déraillée, par l'emploi de longerons et de fers zorés.

« Art. 8 : *Nature du métal à employer dans le tablier et ses supports.* — Le tablier et les parties métalliques de ses supports, y compris l'arc, s'il en est projeté, pourront être prévus soit en fer, soit en acier, mais sous la réserve expresse que le métal adopté satisfera rigoureusement dans les deux cas à toutes les conditions de qualité et de résistance qui sont stipulées au devis.

« Il sera loisible aux concurrents de présenter, si bon leur semble, des projets comparatifs avec substitution d'un métal à l'autre, dans tout ou partie de la construction.

« De son côté, la Commission chargée de l'examen des projets pourra demander aux auteurs de ceux qu'elle aura pris en considération, d'étudier comparativement tels changements de métal qu'elle jugera avantageux et d'établir les modifications corrélatives à apporter au détail estimatif et, s'il y a lieu, au bordereau des prix.

« L'Administration se réserve de prendre irrévocablement, à ce sujet, telle décision qu'elle jugera utile.

« Art. 9 : *Calculs de résistance.* — La résistance du tablier des piles métalliques et de l'arc, le cas échéant, sera calculée en vue des deux épreuves suivantes :

« 1° Surcharge uniforme réglée conformément au tableau inséré dans la Circulaire ministérielle du 9 juil-

let 1877, sans que toutefois le poids de cette surcharge par mètre linéaire de tablier descende au-dessous de 3.800 kilogrammes;

« 2° Surcharge d'un train remorqué par deux machines du type Midi n° 2001 et formé de wagons de 15 tonnes.

« On fera, en outre, intervenir dans les calculs de résistance l'action du vent, à raison de 275 kilogrammes par mètre carré, quand le tablier n'est pas surchargé, et de 150 kilogrammes dans le cas contraire, en appliquant ces pressions à une fois et demie la surface que présentent en élévation géométrale les parties de la construction pour lesquelles l'action du vent se transmet aux ouvrages à calculer.

« Les calculs de résistance seront d'ailleurs établis de manière à faire ressortir, pour chaque nature d'ouvrages en particulier, les maxima des moments fléchissants et des efforts tranchants qu'ils sont appelés à supporter sous les combinaisons respectives de forces extérieures qui peuvent les fatiguer le plus à ces deux points de vue, et on s'attachera, toutes les fois que ce sera possible, sans trop compliquer les calculs, à déterminer ces maxima, par la considération de la plus grande fatigue effective à laquelle les pièces peuvent être exposées, en raison de la position réelle des surcharges, au lieu de recourir à l'hypothèse d'une répartition uniforme.

« On déterminera, en outre, dans le cas d'un arc, les effets d'un écart de température de 30° au-dessus et au-dessous de celle du clavage.

« Quant aux piles en maçonnerie, la résistance en sera vérifiée dans la double hypothèse du maximum absolu de 275 kilogrammes pour la pression du vent par mètre carré, lorsque le viaduc n'est pas surchargé, et du maximum relatif de 150 kilogrammes dans le cas d'une surcharge uniforme. On déterminera la situation de la section la plus fatiguée et le maximum de pression qui

s'y exercera sur l'arête opposée à la direction du vent.

« Les concurrents devront, du reste, fournir à la Commission toutes les justifications supplémentaires qui lui paraîtraient nécessaires pour s'assurer de la complète résistance d'une partie quelconque de la construction.

« ART. 10 : *Coefficients de travail.* — Les limites de travail à admettre pour les ouvrages en fer et en fonte sont celles que fixe la Circulaire ministérielle du 9 juillet 1877, étant entendu que, dans les pièces sujettes à se voiler sous un effort de compression exercé suivant leur longueur, ces limites seront réduites conformément aux formules habituelles, d'après le rapport de leur longueur à leur plus faible dimension transversale ou à leur plus petit rayon de giration.

« Le coefficient de travail du fer par millimètre carré sera d'ailleurs abaissé, pour la rivure, à 5 kilogrammes au maximum.

« Pour l'acier, on adoptera les coefficients suivants par millimètre carré, avec la restriction indiquée ci-dessus, au sujet des pièces exposées à se voiler sous un effort de compression :

« Dix kilogrammes pour les poutres principales et les arcs ;

« Neuf kilogrammes pour les pièces de pont et les longerons ;

« Huit kilogrammes pour la rivure.

« La pression maxima à admettre pour les maçonneries sera déterminée soit d'après l'exemple d'ouvrages déjà construits avec des matériaux de même façon et de qualité comparable, soit par des expériences directes, s'il en est besoin. Dans ce dernier cas, les expériences seront faites, sur la demande et aux frais des concurrents, avec les matériaux qu'ils présenteront, par le Service des recherches statistiques et expériences sur les matériaux de construction, et le procès-verbal en sera joint à leur projet.

« Art. 11 : *Appareils de visite des parties métalliques de la construction.* — Le projet du viaduc devra comprendre les appareils fixes ou mobiles nécessaires pour permettre, dans des conditions acceptables de sécurité, la visite et l'entretien de toutes les parties métalliques de la construction.

« Les appareils fixes seront en métal, convenablement assemblés et rivés sur les pièces métalliques, et disposés de manière à satisfaire complètement à leur objet sans nuire à l'effet de l'ouvrage.

« Les engins mobiles devront s'adapter convenablement à la forme des membrures supérieures des poutres, lesquelles seront disposées de manière à rendre le mouvement de ces engins commode et praticable avec sécurité.

« Art. 12 : *Désignation des pièces à comprendre dans le dossier du projet.* — Le dossier du projet comprendra :

« 1° Les dessins suivants :

« Un plan et une élévation d'ensemble du viaduc, à l'échelle de $0^m,001$ par mètre ;

« Des plans, élévations et coupes, à l'échelle de $0^m,005$ par mètre, figurant les dispositions générales des diverses parties constitutives de la construction.

« Des dessins, à grande échelle, de tous les détails nécessaires à la complète appréciation des dispositions projetées et notamment de celles des ouvrages métalliques ;

« 2° Le devis descriptif de la construction ;

« 3° L'avant-métré détaillé des travaux définitifs de toute nature qu'elle comporte ;

« 4° Le bordereau des prix d'unité moyennant lesquels le soumissionnaire s'engage à exécuter le viaduc, si son projet est agréé ;

« 5° Le détail estimatif des dépenses, lequel sera établi en appliquant les prix du bordereau aux quantités déterminées par l'avant-métré et en y ajoutant, pour travaux et frais imprévus, la somme à valoir que le soumissionnaire

jugera nécessaire pour se charger à forfait de l'exécution du viaduc au prix total de son estimation, si l'Administration opte pour ce mode de règlement ;

« 6° Une notice justificative dans laquelle les concurrents devront notamment exposer avec précision les moyens qu'ils se proposent d'employer pour le montage et la mise en place du tablier et de ses supports, et établir, en produisant à l'appui les calculs de résistance stipulés à l'article 9, que, d'une part, une fois le viaduc achevé, les efforts des maçonneries et des métaux ne dépasseront pas, sous l'effet des combinaisons les plus défavorables de forces extérieures, les limites indiquées à l'article 10, et que, d'autre part, pendant toutes les périodes du montage et de la mise en place des parties métalliques, celles-ci se trouveront constamment dans de bonnes conditions de résistance et de stabilité. »

Le délai pour le dépôt des projets expirait fin juillet 1887.

Sept soumissions furent remises au Ministère des Travaux publics, savoir :

Deux par la Maison Eiffel (avec une variante pour le premier) ;

Une par la Société des Ponts et Travaux en fer (Maison Joret) ;

Deux par la Maison Daydé et Pillet ;

Une par M. Seyrig ;

Une par la Société des Batignolles.

Nous n'entrerons pas dans l'examen détaillé des diverses solutions présentées, ni dans la discussion complète de leurs avantages et de leurs inconvénients. Cette étude nous entraînerait trop loin d'une simple notice historique, et nous nous contenterons d'exposer sommairement, résumées dans les deux tableaux qui suivent, les dispositions présentées et les opinions émises sur chaque projet.

Description des projets. — Les données essentiell des projets présentés au concours sont résumées dans tableau suivant (p. 82 *bis*) :

Discussion des projets. — Ces divers projets fure examinés et vérifiés par les ingénieurs du service de l ligne de Carmaux à Rodez, soumis à la Compagnie d Midi, puis discutés par la Commission, nommée à c effet, auprès du Conseil général des Ponts et Chaussées

Nous avons réuni dans le tableau suivant (p. 82 *ter* les divers avis émis sur chacun des projets présentés.

Conclusions et décisions. — Comme conclusions, la Com pagnie du Midi repoussait donc les projets à arcs métal liques et ceux à poutres droites supportés par des pile en forme de chevalets. Elle se prononçait, par suite, pou un projet à poutres droites supportées soit par des pile en maçonnerie dans le genre du projet Eiffel n° 1 (pile qui, dans ce cas, devraient être traitées avec un soin tou particulier et faire l'objet d'une étude spéciale), soit pa des piles métalliques reposant sur un socle unique e maçonnerie, et conçu de manière à ne sortir, ni pour l métal ni pour la maçonnerie, des hauteurs usitées jusqu ce jour.

Elle insistait, en outre, sur la nécessité d'adopter, pou la visite et l'entretien, des dispositions faciles et commodes.

Les ingénieurs du Service de la Construction et la Commission du Concours, au contraire, se prononçaient nettement en faveur du projet de la Société des Batignolles.

Par une décision en date du 30 août 1889, M. le Ministre des Travaux publics adopta cet avis et invita la Société des Batignolles à lui soumettre le projet définitif de l'ouvrage.

…ALES		
ENSEMBLE de l'ouvrage y compris la somme à valoir	Par MÈTRE superficiel de vide à franchir (27.542m²)	OBSERVATIONS
2.264.104f,00	82f,20	
2.153.482f,00	78f,19	
1.917.047f,00	69f,60	
1.910.000f,00	69f,35	
1.522.400f,00	55f,28	Ce projet n'ayant pas la même longueur que les autres (460m,00), il a été tenu compte du supplément de remblai à exécuter aux abords.
2.077.000f,00	75f,42	*Id.* Ce projet comportait une variante dont l'estimation s'élevait à 2.038.500 francs. Une deuxième estimation, adressée par les constructeurs, réduisait à 1.911.000 francs le chiffre du projet et à 1.872.000 francs le chiffre de la variante.
2.000.000f,00	72f,62	
1.861.000f,00	67f,57	

AVIS DE M. BE

Ordinaire du service

insuffisants. Les i
La construction
ute de matériaux.
sont satisfaisantes e

et contreventement
t insuffisantes. Les
piles sont générale
s de ces piles sont
nt au sommet qu'à
obtenus ne paraiss

outres principales.
contreventements,
lançage présente de
de leurs faces est
s des fondations en

contreventements se
ne sont pas homog
ndications relatives
niles ne paraissent

AVIS DE M. BERGET inaire du service de la Construction	COMMISSION DU CONCOURS
suffisants. Les indications relatives au lan .a construction des grandes piles en m c de matériaux. it satisfaisantes et méritent l'attention.	rojets, c'est l'adoption de piles en maçon- e hauteur. Cette adoption viole les pres- alinéa de l'article 7 du Cahier des charges, trouve pas, dans le pays, pour l'exécution riaux convenables ; d'autre part, on n'a pas 'à ce jour des piles en maçonnerie qui ır, même avec de bons matériaux. donc qu'écarter ces solutions.
t contreventements sont à renforcer. Les in insuffisantes. Les tabliers des travées d'a iles sont généralement faibles. Le calcul d de ces piles sont articulés à leurs extrémité au sommet qu'à la base. Dans ces condi btenus ne paraissent pas présenter une sécu	à celles qui précèdent. voir écarter ce projet.
ıtres principales, les diverses parties du tab contreventements, partie en acier, partie c ınçage présente des difficultés non étudiées. de leurs faces est insuffisante et ne donne des fondations en maçonneries sont insuffis	à celles qui précèdent. Malgré les insuf- montant du projet est 1.910.000 francs. Ce tablement dépassé, si on voulait donner à les les dimensions qu'elles devraient avoir. donc pas pouvoir adopter ce projet.
ontreventements sont à renforcer. Comme c ie sont pas homogènes. dications relatives au lançage sont insuffisa iles ne paraissent pas pouvoir être calcul	à celles qui précèdent. Les piles donnent ques sur lesquelles ne peuvent faire passer le l'ouvrage (1.522.000 francs) et l'économie

V. **Projet d'exécution.** — Nous en arrivons enfin au projet d'exécution, et il semblerait que les dernières études eussent dû être terminées rapidement. Cependant sept années s'écoulèrent encore avant que le projet définitif fût approuvé. Cela tient à ce que diverses décisions vinrent modifier les conditions d'établissement de l'ouvrage et en changer, par suite, les dimensions et le prix de revient.

MODIFICATIONS AUX BASES D'ÉTABLISSEMENT DU PROJET. — *Décision du* 19 *mars* 1891. — Le Cahier des charges du concours prévoyait, en son article 7, que « le dessus des rails serait à une profondeur suffisante au-dessous du point le plus bas des tables supérieures des poutres pour que celles-ci fissent par elles-mêmes garde-corps et retinssent sur le plancher les véhicules déraillés ». Lors du concours, la Société des Batignolles avait appelé l'attention de la Commission sur les inconvénients de cette disposition, qui ne permettait pas de relier les semelles supérieures directement entre elles et pouvait amener dans les montants, au droit des attaches des pièces de pont, des flexions accessoires.

Le Cahier des charges demandait encore, en son article 11, « que le projet du viaduc comprît les appareils fixes ou mobiles nécessaires pour permettre, dans des conditions acceptables de sécurité, la visite et l'entretien de toutes les parties métalliques de la construction ». Toutefois, dans le projet présenté au Concours, la Société ne donnait que des renseignements très généraux sur ces appareils, qui lui paraissaient ne pouvoir être arrêtés que lorsque tous les détails de la construction seraient fixés et qu'on connaîtrait exactement les vues de l'Administration à ce sujet.

La décision du 30 août 1889 appelait enfin l'attention de la Société sur les soins à apporter à la préparation des

sommiers métalliques destinés à recevoir les articulations inférieures.

La Société des Batignolles, avant d'étudier son projet définitif, reprit ces diverses questions et, par une lettre en date du 27 novembre 1889, demanda à leur sujet des instructions à M. le Ministre des Travaux publics. Un peu plus tard elle adressa d'ailleurs à M. l'Inspecteur général Robaglia, président de la Commission du concours, un double projet comprenant :

1° Un projet de garde-corps à établir sur chaque ferme de l'arc pour empêcher le renversement des véhicules, en admettant que les semelles supérieures des fermes soient abaissées au niveau du plancher de la voie. Ces garde-corps étaient calculés de manière à résister à des efforts horizontaux et verticaux analogues à ceux que peut supporter la semelle supérieure de la poutre du viaduc de Garabit. L'augmentation de dépense qui devait résulter de leur adoption était évaluée à 67.762 fr. 60.

Dans le même projet, la Société proposait de remplacer la composition du plancher prévue au concours (identique à celle du viaduc de la Bouble, avec voie sur traverses) par une composition du plancher identique à celle du viaduc de Garabit (*).

2° Un projet complet d'appareils de visite et d'entretien, destiné à remplacer les indications générales données dans le projet de concours. La dépense correspondante était évaluée à 36.411 fr. 72 (le projet de concours avait prévu, en bloc, 35.000 francs).

Après instruction et avis de MM. les Ingénieurs du Service, M. le Ministre des Travaux publics répondit à ces demandes par une dépêche du 19 mars 1891, dans laquelle il décidait en particulier :

(*) Cette modification était inspirée, croyons-nous, par une observation qu'avait faite la Compagnie du Midi dans un rapport de M. l'Ingénieur en chef de la Voie et des lignes nouvelles, en date du 29 août 1888.

Que la voie serait établie au niveau des semelles supérieures de l'ouvrage, suivant des dispositions analogues, pour la voie et le platelage, à celles duviaduc de Garabit, et que les garde-corps présenteraient une résistance comparable, en cas de déraillement, à celle des poutres du même viaduc ;

Que les dispositions présentées par la Société pour les appareils de visite et d'entretien pouvaient être maintenues, sous réserve de certaines modifications proposées par MM. les Ingénieurs du Service de la Construction (il en a été tenu compte dans le projet définitif).

Décision du 23 *mars* 1892. — Quelque temps après cette Décision intervenait le Règlement du 29 août 1891, qui édictait, pour le calcul des ouvrages métalliques, des règles bien différentes de celles prescrites par le Cahier des charges du concours, tant au point de vue des surcharges à admettre (surcharge roulante et vent) qu'à celui des coefficients de travail permis pour le métal.

A la suite d'une question posée par la Société des Batignolles, une Décision ministérielle du 23 mars 1892 prescrivit de calculer l'ouvrage d'après les nouvelles règles édictées par le Règlement de 1891, tout en adoptant pour les coefficients de travail de l'acier, dans les fermes principales, les limites déterminées par la formule

$$R = 8^{kg} + 4 \frac{A}{B}.$$

indiquée dans la Circulaire du 29 août 1891 (art. 2, § 3).

PREMIER PROJET D'EXÉCUTION (ARC DE 250 MÈTRES D'OUVERTURE). — C'est donc d'après les bases fixées par ces deux dernières Décisions ministérielles que la Société étudia son projet d'exécution qu'elle envoya à M. l'Ingénieur en chef Callon, le 6 août 1892. Elle avait conservé les mêmes dispositions qu'au projet de concours. Le montant du détail estimatif s'élevait à près de 3.000.000 de francs.

La vérification à laquelle nous avons procédé fit ressortir un certain nombre de critiques auxquelles l'ouvrage donnait lieu, tant au point de vue technique qu'au point de vue économique.

Au point de vue technique, les objections soulevées étaient les suivantes :

1° L'arc est articulé à la clef, et cette articulation est un des avantages du type adopté, puisqu'elle permet de calculer simplement et avec une certitude aussi grande que possible les efforts dans les barres de l'ouvrage. En outre, elle élimine l'influence des variations de température.

Mais il est essentiel pour cela que l'articulation fonctionne. Or les poussées à la clef sont :

Dans le cas le plus défavorable................	906^T,7
— moyen (poids permanent seul).....	640 ,0
— le plus favorable..................	547 ,6

Il y a lieu de se demander, dans ces conditions, si l'articulation pourrait fonctionner d'une manière satisfaisante.

2° Les efforts dans les barres atteignent des valeurs considérables et conduisent à adopter pour ces barres des sections d'une réalisation peu commode. A plus forte raison peut-on avoir des craintes sur la manière de réaliser les assemblages auxquels ces barres donnent lieu.

En particulier, pour les semelles inférieures voisines des appuis, on arrive à des épaisseurs à river (semelle n° 43, 119 millimètres) qui sortent des limites habituelles.

3° La poussée à la clef est, dans une certaine mesure, l'un des facteurs les plus importants au point de vue des efforts dans les barres de la travée centrale, et c'est un des principaux avantages de cette solution que de constituer, grâce aux encorbellements, un arc à poussée réduite.

Dans le projet de concours, la poussée minima à la clef était de 265 tonnes; ce chiffre était déjà trop élevé. A plus forte raison en est-il de même dans le projet présenté

où la poussée moyenne, due au poids permanent seul, est de 640 tonnes, et la poussée minima de $547^T,6$.

Une poussée aussi forte est absolument inutile pour la sécurité (*) (surtout avec un ancrage à la clef pouvant résister à un effort de traction de 100 tonnes par ferme) et a le grave inconvénient d'augmenter les efforts dans un grand nombre de barres.

4° La courbe adoptée pour les semelles inférieures paraît défectueuse. Elle se relève trop brusquement au départ des naissances. Indépendamment d'effets peu gracieux qui en résultent dans l'aspect, on augmente ainsi, d'une façon assez notable, en diminuant la hauteur des panneaux moyens, les efforts dans les semelles de ces panneaux et les déformations à la clef ou aux extrémités des encorbellements.

5° L'encorbellement doit être renforcé pour la période provisoire du montage. L'augmentation de poids qui en résulte est même considérable et peut être évaluée à environ 200 tonnes. Elle provient de la forte traction (461 tonnes) qu'il faut exercer à l'extrémité des fermes pour maintenir l'équilibre. Il y a là une mauvaise utilisation du métal qui tient à ce que l'encorbellement n'équilibre pas suffisamment la travée centrale (**).

Au point de vue économique, le projet présentait une augmentation de 1.128.000 francs, c'est-à-dire environ 61 0/0 par rapport au projet de concours. C'était un résultat peu satisfaisant, et on pouvait se demander si la solution adoptée était encore la plus avantageuse de celles présentées au concours. Il était donc intéressant de rechercher les causes de cette augmentation considérable.

(*) Le seul résultat à obtenir est, en effet, que l'arc ne puisse s'ouvrir à la clef et, dans le cas le plus défavorable, tomber du côté des encorbellements. Une sécurité de 200 tonnes par ferme, soit 100 tonnes de poussée et 100 tonnes d'ancrage, paraît bien suffisante à ce point de vue.

(**) Ce défaut existait déjà, mais à un degré moindre, dans le projet de concours.

	AUGMENTATIONS DE POIDS		CAUSES DES AUGMENTATIONS
	en valeur absolue	en 0/0 par rapport aux poids du projet de concours	
Plancher en zorès et voie sur longrines	87^T	62 0/0	Renforcement du platelage par des zorès longitudinaux. 33^t Chemins latéraux....... 21 Pièces de fixation des longrines 33
Longerons secondaires..	12	15	Sections trop fortes (fer remplacé par de l'acier).
Pièces de pont et longerons principaux......	47	44	Diminution du coefficient de travail, augmentation du poids mort, sections un peu fortes. Ces causes d'augmentation sont en partie compensées par des dispositions plus rationnelles et utilisant mieux la résistance du métal.
Garde-corps............	113		Décision du 19 mars 1891.
Appareils de visite et d'entretien...............	79		*Idem*
Divers (retombée des arcs, panneau de la clef, etc.)............	40		Conséquence de l'augmentation de toutes les parties de la construction.
Contreventements	196	100	Sections trop fortes. Calcul à rectifier.............. 100^t Diminution du coefficient de travail............... 60 Etablissement de la voie au niveau des semelles supérieures des fermes..... 36
Fermes	1.002	66	Etablissement de la voie au niveau des semelles supérieures. Diminution de la flèche................ 46 Règlement de 1891. Efforts dus au vent.... 60 Changement des coefficients de travail......... 333 Renforcement de l'encorbellement pour la période du montage....... 200 Travail supplémentaire provenant de l'augmentation du poids mort...... 320 Divers 43
Travées de raccordement.	23	28	Application du Règlement de 1891.
Appuis.................	69	101	Conséquences de l'augmentation de toutes les parties de l'ouvrage.
Maçonneries...........	101.000 fr.	50	

Les augmentations de poids pour les diverses parties

de l'ouvrage sont données dans le tableau qui précède ; nous avons mis en regard les causes auxquelles on peut les rattacher.

Elles se chiffrent en argent par une somme de 1.208.000 francs, soit en tenant compte de la somme à valoir (80.000 francs), prévue au projet de concours, par une augmentation de dépense de 1.128.000 francs, qui peut se répartir ainsi :

Décision du 19 mars 1891 : 273.600 fr.	Platelage et voie de Garabit..... Appareils de visite.	83.000
	Garde-corps ..... Diminution de la flèche......... Pour porter les précédents.....	168.000
	Maçonneries.....	22.600
Décision du 23 mars 1892 : 565.600 fr.	Arc.............	507.000
	Travées de raccordement........	11.000
	Maçonneries.....	47.600
Conséquences communes aux deux décisions........... 268.200 fr.	Renforcement de l'arc pour le montage.......	171.000
	Appuis..........	75.000
	Maçonneries.....	22.200
Sections trop fortes..... 100.600 fr.	Tablier..........	8.000
	Contreventements	85.000
	Maçonneries.....	7.600

Avant-projet d'un arc de 213 mètres d'ouverture. — Les conséquences de ces critiques se voient immédiatement. Pour remédier aux défauts signalés, il fallait :

1° Modifier les proportions de l'ouvrage de manière à :

Donner plus d'importance à l'encorbellement ;

Diminuer la travée centrale par rapport à l'encorbellement ;

Diminuer la poussée à la clef.

Il suffisait, pour réaliser ces conditions, de diminuer la travée centrale en augmentant d'autant les encorbellements. Cette modification avait d'ailleurs d'autres avantages : elle augmentait la flèche et, en diminuant notablement les déformations à la clef, supprimait les critiques que M. le Directeur de la Compagnie du Midi avait adressées au système (*).

2° Adopter pour les semelles inférieures des courbes plus tendues, arcs de cercle ou de parabole ; les panneaux étant ainsi plus hauts, les efforts dans les semelles seraient diminués. L'ouvrage en serait aussi amélioré au point de vue de l'aspect et des déformations.

3° Modifier, s'il y avait lieu, les procédés d'ancrage pendant la période du montage, de manière à ne pas être obligé de renforcer, pour cette période provisoire, les sections strictement nécessaires pendant la période d'exploitation. Il suffisait pour cela de répartir le contrepoids en différents points de l'encorbellement au lieu de l'appliquer tout entier à son extrémité.

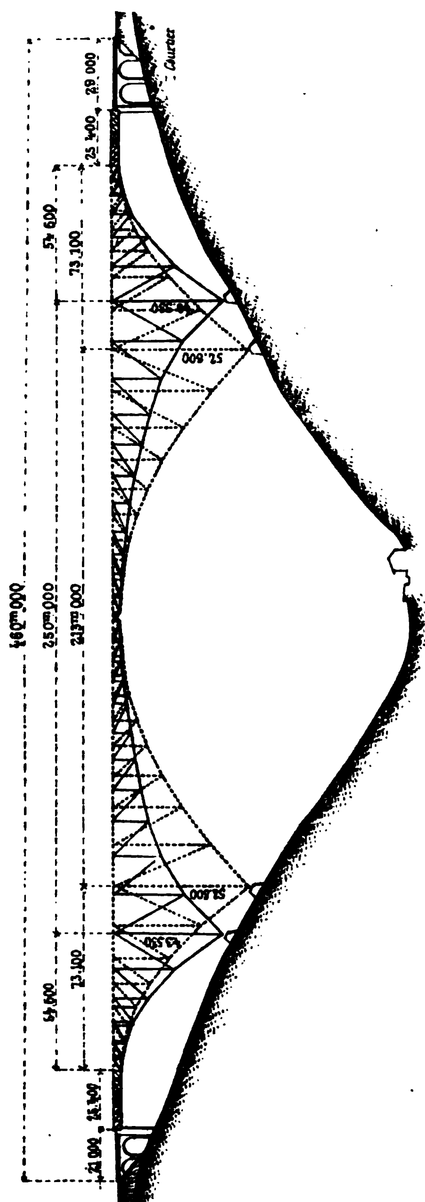
Toutes ces améliorations techniques devaient forcément diminuer la dépense ; en outre, d'après ce qui a été vu plus haut, des économies de détail pouvaient aussi être apportées au projet.

C'est dans cet esprit que nous avons étudié sommairement et présenté dans un Rapport du 15 février 1894, relatif à la vérification du projet de la Société, l'avant-projet d'un ouvrage dont les données étaient les suivantes (*fig.* p. 91) :

(*) Dans le projet définitif de 220 mètres d'ouverture que nous allons examiner, les déformations ne sont plus que de :

Verticalement $\frac{11,8 + 1,6}{2} = 6^{cm},7$, soit environ $\frac{1}{3280}$ de l'ouverture ;

Horizontalement, $13^{cm},3$, soit environ $\frac{1}{1650}$ de l'ouverture.



29.000
25.400
54.600
73.100
52.600
250m000
21.000

Longueur totale...........................	410m,00
Ouverture de la travée centrale.............	213 ,00
Longueur des encorbellements.............	73 ,10
Longueur des travées de raccordement......	25 ,40
Flèche...	51 ,40

Courbes des semelles inférieures : arcs de parabole.

Les résultats obtenus confirmèrent les prévisions exposées ci-dessus :

La poussée à la clef, due au poids permanent, se réduisit à............................	271 tonnes
La poussée maxima à......................	535 —
La poussée minima (*) à....................	150 —

Avec une répartition convenable du contrepoids, les renforcements pour la période du montage devenaient nuls.

Le montant du projet s'élevait à environ 2.400.000 francs.

Projet définitif (arc de 220 mètres d'ouverture) (Pl. 3). — A la suite de ces résultats, la Société des Batignolles fut amenée à proposer elle-même de recommencer son projet d'exécution sur de nouvelles bases.

Elle adopta un ouvrage dont les données essentielles sont les suivantes :

Ouverture de la travée centrale............	220m,00
Longueur des encorbellements.............	69 ,60
Longueur des travées de raccordement......	25 ,40
Longueur totale............................	410 ,00
Flèche...	53 ,731
Estimation........................	2.452.105 fr. 08

Après vérification et examen par les ingénieurs du Service de la Construction et avis de la Compagnie du

(*) Ces résultats sont ceux de l'avant-projet ; une deuxième approximation pour le poids permanent aurait donné des résultats un peu plus faibles.

Midi, ce projet fut soumis à M. le Ministre des Travaux publics, qui l'approuva par Décision ministérielle en date du 8 avril 1896.

Avant d'exposer les calculs auxquels il a donné lieu et de le décrire en détail, il sera utile d'exposer sommairement comment est constitué cet ouvrage, exceptionnel en France, du moins jusqu'à présent.

Le viaduc du Viaur présente, en élévation et en plan, les dispositions indiquées sur la Pl. 3.

Il se compose d'une travée centrale en forme d'arc, de 220 mètres d'ouverture, et de deux travées de rive, constituées partie par un encorbellement solidaire de la travée centrale, et partie par une travée de raccordement, appuyée d'un côté sur l'extrémité de l'encorbellement et de l'autre sur une arrière-culée en maçonnerie. L'ouverture de chaque travée de rive est de 95 mètres, dont $25^{m},40$ pour la travée de raccordement, de sorte que la longueur entre les arrière-culées est de 410 mètres. Les arrière-culées ont, comme longueur : celle de Carmaux, 21 mètres ; celle de Rodez, 29 mètres ; ce qui porte la longueur totale de l'ouvrage à 460 mètres. La hauteur du rail au-dessus du fond de la vallée est de 116 mètres.

Dans son ensemble, l'arc comprend deux fermes principales supportant la voie à leur partie supérieure et butant à leur partie inférieure, par l'intermédiaire d'articulations, contre des culées en maçonnerie encastrées dans le rocher.

Chaque ferme principale se trouve divisée en deux parties symétriques par une articulation placée à la clef.

La flèche de la travée centrale, mesurée entre l'axe d'articulation de la clef et l'horizontale passant par les axes d'articulation des naissances, est de $53^{m},731$.

En coupe transversale, les fermes sont inclinées de 25 0/0 sur la verticale ; la distance d'axe en axe des fermes à la partie supérieure est de $5^{m},89$, et celle

d'axe en axe des retombées des naissances atteint 33^{m},39. La Pl. 3 donne les sections transversales de l'ouvrage au droit de divers montants de l'arc.

Chaque demi-ferme se compose d'une semelle supérieure rectiligne et d'une semelle inférieure polygonale, toutes deux à âmes doubles, reliées entre elles par des barres obliques et des montants formant les tympans. Les montants sont situés au droit des sommets du polygone constitutif de la semelle inférieure et déterminent les nœuds de la charpente. Les fermes ne comportent donc pas de barres surabondantes. Les axes des barres constitutives d'une ferme aboutissant à un même nœud se rencontrent en un même point ; ces axes correspondent d'ailleurs aux fibres moyennes des barres.

Pour la facilité du langage, on a donné un numéro à chaque barre d'une demi-ferme, en commençant par le montant de la clef qui porte le n° 0.

Les montants sont ainsi numérotés : 0, 4, 8, ..., 64, 68. Le montant des naissances est le montant 40 ;

Les semelles supérieures portent les n°s 1, 5, 9, ..., 61, 65 ;

Les barres obliques, les n°s 2, 6, 10, ..., 38, 42, ..., 66 ;

Les semelles inférieures, les n°s 3, 7, 11, ..., 63, 67.

Le tableau n° 1 (p. 95) donne les longueurs, tant en projection verticale qu'en vraie grandeur, de toutes ces barres, et permet de reconstituer l'ouvrage.

Les deux fermes sont reliées :

Au droit de deux montants et à la partie supérieure, par des pièces de pont qui supportent les diverses pièces du tablier et la voie. Sur le restant de la hauteur et dans les mêmes plans transversaux, la liaison est établie par des entretoises horizontales et des contreventements verticaux (contrefiches ou croix de Saint-André à un ou plusieurs étages). Ces entretoises et contreventements sont désignés par les numéros des montants correspondants ;

Tableau n° 1. — *Longueurs des barres constitutives de l'arc.*

Semelles supérieures			Semelles inférieures			Barres obliques			Montants		
Numéros des barres	Longueur des barres		Numéros des barres	Longueur des barres		Numéros des barres	Longueur des barres		Numéros des barres	Longueur des barres	
	en projection verticale	en vraie grandeur		en projection verticale	en vraie grandeur		en projection verticale	en vraie grandeur		en projection verticale	en vraie grandeur
1	7m,200	7m,200	3	7m,280	7m,285	2	7m,710	7m,741	0	2m,765	2m,850
5	7 ,650	7 ,650	7	7 ,754	7 ,761	6	8 ,553	8 ,606	4	3 ,832	3 ,850
9	8 ,250	8 ,250	11	8 ,387	8 ,396	10	9 ,691	9 ,775	8	5 ,093	5 ,250
13	9 ,000	9 ,000	15	9 ,209	9 ,222	14	11 ,154	11 ,275	12	6 ,597	6 ,800
17	9 ,900	9 ,900	19	10 ,243	10 ,264	18	13 ,066	13 ,239	16	8 ,537	8 ,800
21	10 ,800	10 ,800	23	11 ,369	11 ,404	22	15 ,520	15 ,768	20	11 ,157	11 ,500
25	11 ,850	11 ,850	27	12 ,865	12 ,296	26	18 ,871	19 ,225	24	14 ,608	15 ,150
29	13 ,050	13 ,050	31	14 ,900	15 ,009	30	23 ,615	24 ,122	28	19 ,694	20 ,300
33	14 ,400	14 ,400	35	18 ,048	18 ,251	34	30 ,476	31 ,207	32	36 ,873	27 ,700
37	16 ,200	16 ,200	39	23 ,689	24 ,080	38	41 ,055	42 ,124	36	37 ,739	38 ,900
41	15 ,450	15 ,450	43	25 ,201	25 ,688	42	38 ,437	33 ,338	40	55 ,007	56 ,700
45	13 ,050	13 ,0 0	47	17 ,696	17 ,947	46	26 ,589	27 ,213	44	35 ,119	36 ,200
49	10 ,950	10 ,950	51	13 ,487	13 ,630	50	18 ,825	19 ,210	48	23 ,186	23 ,900
53	9 ,150	9 ,150	55	10 ,550	10 ,632	54	13 ,610	13 ,642	52	15 ,328	15 ,800
57	7 ,800	7 ,800	59	8 ,571	8 ,617	58	10 ,177	10 ,307	56	10 ,089	10 ,400
61	6 ,900	6 ,900	63	7 ,285	7 ,309	62	8 ,032	8 ,151	60	6 ,548	6 ,750
65	6 ,300	6 ,300	67	6 ,457	6 ,467	66	6 ,896	6 ,932	64	4 ,220	4 ,350
									68	2 ,813	2 ,900

Dans le plan des semelles inférieures, par des contreventements à entretoises (communes avec les précédents) et croix de Saint-André. Ces dernières barres sont numérotées à partir de la clef 102, 106, ..., 166.

La partie de ferme limitée par deux montants successifs constitue un panneau. Un panneau est désigné par les numéros de ses deux montants extrêmes. Exemple : 28,32.

Les pièces de pont dites principales, mentionnées plus haut, déterminent entre elles un certain nombre d'intervalles correspondant aux panneaux des fermes. Dans chacun de ces intervalles, le tablier est complété par :

Deux longerons principaux, parallèles aux semelles supérieures des fermes et fixés aux pièces de pont principales;

Une ou plusieurs pièces de pont secondaires parallèles aux pièces de pont principales et fixées sur les longerons principaux;

Deux cours de longerons secondaires placés à l'aplomb des rails et fixés aux pièces de pont.

Cet ensemble supporte un plancher en fer zorès, sur lequel la voie repose par l'intermédiaire de longrines en bois.

Enfin un garde-corps très rigide est fixé sur les semelles supérieures des fermes.

Les travées de raccordement sont constituées par deux fermes verticales (système Pratt) de 3 mètres de hauteur, comprenant 8 panneaux égaux de $3^{m},24$ chacun. Les deux panneaux centraux sont munis de contre-diagonales.

Ces deux poutres sont réunies :

A leur partie supérieure, par des pièces de pont situées au droit de chaque montant;

A leur partie inférieure, par des entretoises situées au droit des montants de deux en deux (0, 2, 4, 6, 8), et des contreventements horizontaux à croix de Saint-André.

Il existe, en outre, au droit de chaque entretoise, des contrefiches constituant un contreventement vertical.

Les travées de raccordement reposent d'un côté sur les entretoises inférieures 68 des extrémités des encorbellements de l'arc, de l'autre sur les sommiers des arrière-culées en maçonnerie. Comme l'arc, elles sont munies de garde-corps rigides.

Les diverses parties constituant la charpente métallique du pont sont :

1° En *acier laminé*, pour les fermes, les pièces de pont, longerons, entretoises et contreventements de l'arc et les garde-corps ;

2° En *fer*, pour les travées de raccordement, les rivets, les pièces du plancher, les passerelles et échelles de visite et d'entretien du pont.

Les culées supportant les retombées des arcs se composent chacune de deux massifs isolés l'un de l'autre, par suite de la grande largeur de la partie métallique aux naissances.

Ces deux massifs sont symétriques par rapport à l'axe du tablier. Ils sont en maçonnerie de moellons bruts couronnée par de la pierre de taille. Afin d'abaisser à une limite convenable les pressions sur la maçonnerie de moellons bruts, il a été prévu trois assises de pierres de taille. Les pierres d'une même assise sont reliées entre elles par des agrafes en fer scellées au plomb.

Bien que l'empattement donné aux fermes de l'arc, entre les appuis d'une même culée, assure un coefficient de stabilité supérieur à 1, même sous l'action des vents les plus violents, il a été prévu un ancrage de ces fermes sur les maçonneries.

Ces ancrages, ainsi que ceux des plaques d'appui, sont formés de tiges rondes, solidement reliées à des poitrails en fer, noyés dans les maçonneries et s'appuyant eux-mêmes sur d'autres poutres en fer disposées transversalement et destinées à établir une complète solidarité entre les fermes métalliques et les massifs qui les supportent.

Une galerie voûtée permet, pour chaque massif, l'accès à l'ancrage de la ferme.

Les arrière-culées se composent : l'une de deux, l'autre de trois voûtes de 7 mètres d'ouverture.

Les études du viaduc du Viaur, jusqu'à l'approbation du projet définitif, ont été poursuivies sous la haute direction de MM. les Inspecteurs généraux Croizette-Desnoyers, Vernis, de La Tournerie, Renoust des Orgeries, Salva, Mengin-Lecreulx, Roman, Henry (Ernest), Koziorowicz et Lethier ; par MM. les Ingénieurs en chef Abrial (jusqu'en 1879), Pacull (1879-1888), Richou (1888-1892), Callon (1892-1895) et Fouquet (1895-1896), et MM. les Ingénieurs ordinaires Blagé (jusqu'en 1877), Berget (1877-1891), Husson (1891-1892) et Théry (1892-1898).

Il convient également de citer ici M. le Conducteur Andrieu, qui n'a cessé de prêter à toutes les études et à toutes les vérifications le concours le plus dévoué et le plus éclairé.

Les travaux sont actuellement exécutés sous la direction de MM. Lax, Inspecteur général, et de Volontat, Ingénieur en chef. Nous en avons été chargé, comme Ingénieur ordinaire, jusqu'au 1er août 1898, époque à laquelle, ayant quitté le Service de la ligne de Carmaux à Rodez, nous avons été remplacé par le camarade Jacquerez.

(*A suivre.*)

N° 7

CONSTRUCTIONS DIVERSES

POUR DÉTERMINER LA POUSSÉE DES TERRES SUR UN MUR DE SOUTÈNEMENT

Par M. HISELY, Ancien élève de l'École polytechnique de Zurich,
Attaché au Bureau des constructions métalliques de la Cie de l'Est.

I. — Équilibre d'un massif de terre quelconque soutenu par un mur.

Considérons (*fig.* 1) un massif de terre OABC soutenu par un mur OA et limité à une tranche de 1 mètre de profondeur. Nous admettrons, comme l'a fait Poncelet, que la disjonction résultant d'un déplacement du mur se produise suivant un plan OZ.

Supposons, en outre, que le massif soit chargé d'une manière quelconque et représentons cette surcharge par une hauteur de terre équivalente dont le lieu géométrique est B'Z'. Nous supposerons, de plus, que les poids partiels qui la composent sont indépendants les uns des autres, de façon que la séparation puisse se produire en n'importe quel point sans résistance et suivant une verticale ZZ'.

En négligeant la cohésion, le prisme OABB'Z'Z doit, au moment du départ, se trouver en équilibre sous l'action des forces suivantes :

1° Son poids P agissant verticalement ;

2° La réaction R du plan de séparation OZ qui fait avec la normale à celui-ci un angle φ égal à l'angle de frottement des terres sur elles-mêmes ;

3° La réaction R′ du mur qui fait avec la normale à son parement intérieur un angle φ' égal à l'angle de frottement des terres sur les maçonneries.

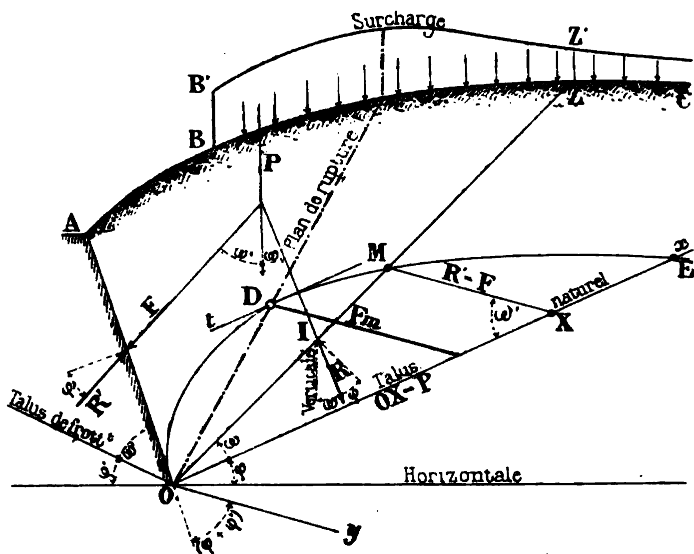


FIG. 1.

Si l'on désigne par ω l'angle variable que peut faire le plan de séparation OZ avec le talus naturel des terres Ox, on voit que la réaction R doit faire le même angle ω avec une verticale, et par suite avec la force P, car les deux angles $(\omega + \varphi)$ ayant leurs sommets en O et I sont égaux.

Pour la même raison, si l'on désigne par ω' l'angle que fait le parement intérieur du mur avec le talus de frottement de terre sur mur, la réaction R′ devra faire l'angle ω' avec la force P.

Le polygone des forces peut donc s'obtenir facilement en construisant un triangle avec un côté égal à P et deux angles adjacents respectivement égaux à ω et ω'.

Or, comme la direction de la poussée F, qui est égale et

opposée à la réaction R′, est connue, et qu'il nous suffit de déterminer sa grandeur, il est inutile d'orienter le triangle des forces; nous l'obtiendrons donc le plus simplement sur la *fig.* 1 elle-même, en portant, à l'échelle des forces, sur le talus naturel, une longueur OX = P et en faisant en X un angle égal à ω'.

Mais le côté XM = R′ = F ainsi obtenu fait avec le parement OA du mur un angle égal à $(\varphi + \varphi')$.

En effet, si l'on convient de représenter par le signe + les rotations effectuées dans le sens de la marche des aiguilles d'une montre et par le signe — les rotations en sens opposé, la droite OA, pour venir en O*y* parallèlement à XM, devra subir les rotations successives :

$$-\omega' - \varphi' - \varphi + \omega' = -(\varphi + \varphi').$$

La direction O*y* étant fixe pour des valeurs données de φ et φ', la poussée F produite par un prisme dont le plan de disjonction est OZ s'obtiendra donc très simplement en menant par l'extrémité X de l'abscisse OX = P une ordonnée parallèle à l'axe O*y* jusqu'à sa rencontre en M avec OZ.

II. — Courbe des poussées.

Si l'on répète la construction ci-dessus pour toutes les positions successives du plan OZ, c'est-à-dire si l'on fait varier l'angle ω, de $\omega = 0$ à $\omega = \angle AOx$, le lieu géométrique des points M représentera la courbe des poussées qui jouit des propriétés suivantes :

1° Pour $\omega = 0$, le plan séparatif OZ coïncide avec le talus naturel; le poids du prisme correspondant aura une certaine valeur OE, mais la poussée qu'il produit étant nulle, la courbe des poussées coupera l'axe O*x* au point E;

2° Pour $\omega = \angle AOx$, le plan OZ coïncide avec le pare-

ment du mur, et le prisme ainsi que la poussée deviennent nuls.

La courbe des poussées passe donc par l'origine O et elle est, de plus, tangente en ce point au parement OA. En effet une tangente est une sécante reliant deux points infiniment rapprochés. Or, lorsque l'angle ω augmente, le point M se rapproche de plus en plus du point O et à la limite, pour $\omega = < AOx$, ces deux points étant infiniment rapprochés, la sécante OM devient la tangente OA;

3° Entre ces deux limites, la courbe des poussées, qui commence par augmenter pour diminuer ensuite, passe par un maximum au point de contact D de la tangente t parallèle à Ox. Ce point de contact détermine par suite la poussée maxima F_m, ainsi que le plan de rupture OD du prisme de plus grande poussée.

III. — Cas particuliers.

Lorsque le contour supérieur du massif est en ligne droite sur une certaine longueur et lorsque la surcharge qui agit sur cette longueur est uniformément répartie, la partie correspondante de la courbe des poussées est un arc d'hyperbole facile à déterminer.

En effet, supposons (*fig.* 2) que le contour du massif AZ_1Z_2B soit en ligne droite entre les points Z_1 et Z_2, et qu'il supporte dans cette partie une surcharge uniformément répartie, représentée par une hauteur h' de terre.

Menons, à une distance verticale égale à $2h'$, la ligne $A'A''$ parallèlement à Z_1Z_2, et déterminons la droite OA' de façon que le triangle $OA'Z_1$ soit équivalent à la surface du prisme surchargé détaché par le plan séparatif OZ_1.

Nous appellerons la droite OA' la *ligne de compensation* correspondant au sommet Z_1, et nous la désignerons en général par x'.

Lorsque l'extrémité Z du plan de disjonction se meut

de Z_1 en Z_2, la surface du prisme surchargé qu'il détache est équivalente à celle du triangle OA'Z.

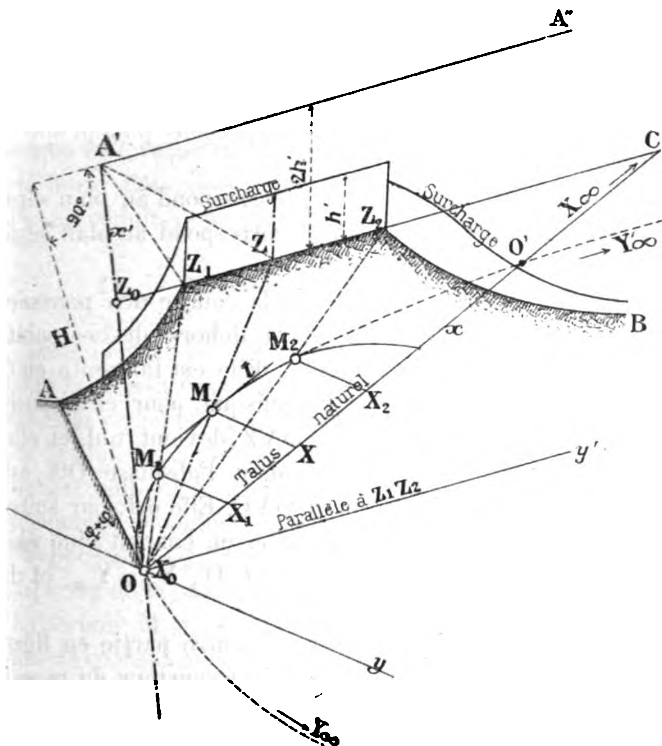


Fig. 2.

Si l'on désigne par H la perpendiculaire abaissée du point O sur A'A'', la surface de ce triangle est égale à $Z_0Z \times H$, et, comme H est une constante, les poids des prismes détachés, ou les abscisses OX seront proportionnelles aux segments Z_0Z.

Les ponctuelles $(Z_0Z_1Z\ldots)$ et $(X_0X_1X\ldots)$ sont donc semblables.

Or la courbe des poussées résulte de l'intersection du

faisceau O (Z_0Z_1Z...) avec le faisceau Y_∞ (X_0X_1X...) formé de droites parallèles à l'axe des y et dont le sommet Y_∞ est le point infiniment éloigné de cet axe. Ces deux faisceaux étant projectifs, puisqu'ils aboutissent à des ponctuelles semblables, la courbe résultant de leur intersection est une conique passant par leurs sommets O et Y_∞; cette conique est une hyperbole puisqu'elle a deux points à l'infini.

Le premier de ces points Y_∞ correspond au plan séparatif fictif Oy, et le second Y'_∞ correspond au plan séparatif fictif Oy' parallèle à Z_1Z_2.

Cette hyperbole n'appartient à la courbe des poussées qu'entre les points M_1 et M_2, et en dehors de ces points elle ne sert qu'à sa détermination. Elle est tangente en O à la ligne de compensation Ox', puisque, pour cette position du plan OZ, le triangle OA'Z devient nul, et elle coupe l'axe des x au point O' dont l'abscisse OO' est égale au poids du triangle fictif OA'C. Elle est, par suite, complètement déterminée, puisqu'on en connaît cinq éléments, savoir : les quatre points O, O', Y_∞, Y'_∞ et la tangente x' au point O.

Il en serait de même pour toute autre partie en ligne droite ; l'on peut donc dire que, si le pourtour du massif compris dans l'angle AOx était un polygone de n côtés et que celles de ces parties qui sont surchargées le soient uniformément et entièrement (ces surcharges pouvant du reste être différentes pour chacun des côtés), la courbe des poussées serait formée d'une succession de n arcs d'hyperboles se raccordant tangentiellement.

En effet, toutes ces coniques étant tangentes en O aux lignes de compensation x' correspondant aux différents sommets du polygone, elles se coupent en ce point sous des angles finis. Elles ont aussi le point infiniment éloigné de l'axe des y en commun. En dehors de ces deux points, deux coniques successives ne pouvant se rencon-

trer que sur le plan séparatif passant par l'intersection des côtés correspondants du contour du massif, il faut qu'elles s'y rencontrent tangentiellement, car autrement elles se couperaient en trois points, ce qui est impossible.

Dans le cas où le massif est limité par une ligne droite unique et lorsque la surcharge uniformément répartie agit sur toute l'étendue de cette droite, la courbe des poussées se réduit à une seule hyperbole.

IV. — Théorème du plan de rupture.

Dans la pratique, le terrain limitant le massif est toujours représenté par un polygone et, dans la plupart des cas, l'on reconnaît à première vue le côté qui sera coupé par le plan de rupture. De plus, quand il existe une surcharge, celle-ci peut presque toujours être supposée uniformément répartie sur une certaine longueur.

Supposons (*fig.* 2) que Z_1Z_2 soit le côté dont il s'agit. La partie de la courbe des poussées, représentée par l'arc d'hyperbole M_1M_2, sera seule utile, puisqu'elle contient le point de contact M de la tangente t, parallèle à l'axe des x. Le plan de rupture OM se détermine alors par une loi très simple.

On sait que les sécantes émanant d'un point quelconque, situé soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'une conique, déterminent sur celle-ci des couples de points formant une involution.

Or l'axe des x et toutes les parallèles à cet axe, qui passent par le point infiniment éloigné X_∞ de sa direction, coupent par suite sur l'hyperbole M_1M_2 des couples de points formant une involution dont le centre perspectif est le point X_∞.

L'axe des x détermine le couple OO'; la parallèle infiniment éloignée donne le couple $Y_\infty Y'_\infty$; et la parallèle t,

tangente à l'hyperbole, la coupe suivant deux points infiniment rapprochés qui constituent un des points doubles de cette involution, ou le point de contact M de la tangente *t*.

Mais on sait aussi qu'en joignant les points d'une telle involution à un point quelconque de la conique, on obtient un faisceau en involution. En les joignant au point O par exemple, la ligne OO, jonction de deux points infiniment rapprochés, est la tangente x' que nous avons appelée ligne de compensation. Les lignes de jonction OO′, OY_∞ et OY'_∞ sont respectivement l'axe des x, l'axe des y et la ligne y' parallèle au talus supérieur, tandis que le rayon double OM de ce faisceau involutif est précisément le plan de rupture cherché.

On peut donc énoncer le théorème suivant:

Le plan de rupture du prisme de plus grande poussée est un des rayons doubles d'un faisceau involutif $xx'yy'$ dont le talus naturel avec la ligne de compensation forme l'un des couples et l'axe des y, incliné de $(\varphi + \varphi')$ sur le mur, avec la parallèle y' au terrain supérieur, l'autre couple.

V. — Construction générale du plan de rupture.

Le théorème précédent nous donne beaucoup de moyens pour construire le plan de rupture à l'aide de la règle et du compas.

Toutes ces constructions peuvent se diviser en deux séries bien distinctes, suivant que l'on opère sur une ponctuelle rectiligne ou sur le faisceau lui-même.

Nous allons donner la solution générale de chacune de ces séries et faire voir comme l'on peut procéder pour les simplifier.

Première série de solutions. — Soit (*fig.* 3) $xx'yy'$ le faisceau involutif dont il s'agit de déterminer le rayon double

qui tombe dans l'angle xx' compris entre le talus naturel et la ligne de compensation.

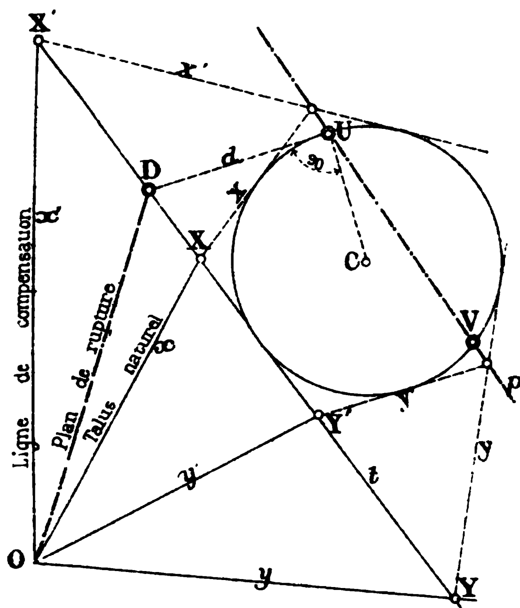


Fig. 3.

Ce faisceau détermine sur une transversale quelconque, t, une involution de points XX'YY'.

Traçons un cercle quelconque tangent à cette transversale et menons par ces points les tangentes xx'yy' au cercle.

Ces tangentes forment aussi une involution dont l'axe perspectif p est la ligne de jonction des points xx' et yy'. Deux tangentes appartenant au même couple devant se couper sur cet axe, les tangentes doubles seront, par suite, celles menées par les points d'intersection U et V de l'axe p avec le cercle.

La tangente d au point U coupe, par suite, sur la trans-

versale t un des points doubles de la ponctuelle en involution, et le plan de rupture cherché est OD.

Comme la transversale t et le cercle tangent sont quelconques, nous pouvons les choisir de manière à simplifier la construction.

Choisissons, premièrement, une transversale t (*fig.* 4), qui soit perpendiculaire à l'un des rayons du faisceau involutif donné, au talus naturel x par exemple, et prenons un cercle quelconque dont le centre C soit situé sur ce rayon.

Fig. 4.

Ce cercle sera par suite tangent à la transversale t au point X, et le point xx′ de l'axe perspectif p coïncidera avec le point X′ conjugué de X.

On évite ainsi le tracé de deux tangentes, et la figure se trouve simplifiée.

L'on pourrait aussi choisir une transversale t qui soit parallèle à l'un *quelconque* des rayons du faisceau donné. au rayon y', par exemple, et même prendre pour cette transversale le côté du contour supérieur du terrain auquel y' est parallèle.

Le faisceau donné $xx'yy'$ (*fig.* 5) détermine alors sur ce côté t une involution de points $XX'YY'_{\infty}$ dont le point Y' tombe à l'infini.

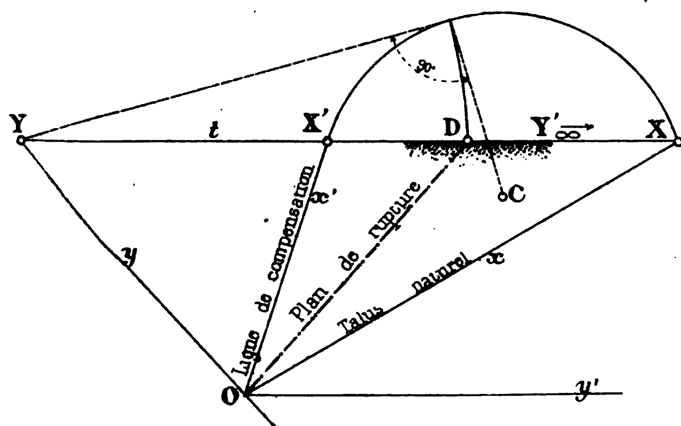


Fig. 5.

Mais, dans toute involution rectiligne, le produit des distances de deux points d'un couple au point correspondant à celui de l'infini est une constante appelée puissance de l'involution. Pour les points doubles, l'on devra par conséquent avoir :

$$\overline{YD}^2 = YX \times YX' = \text{constante}.$$

Cette relation permet de déterminer le point D au moyen de la construction connue d'une moyenne proportionnelle.

On retombe ainsi sur la construction de Poncelet ou sur celles qui en dépendent.

Remarquons qu'aucune des constructions indiquées ci-dessus n'est pratique, car, en opérant sur des ponctuelles rectilignes, certains points d'intersection sont souvent difficiles à déterminer.

Dans la *fig.* 5 notamment, le point Y tombe presque toujours en dehors des limites de l'épure, et si la hauteur du mur augmente ou que l'inclinaison du talus naturel diminue, le point X s'éloigne aussi rapidement. De plus, cette dernière construction offre en pratique un inconvénient, c'est que, si la ligne de compensation varie pour une raison quelconque, le même cercle ne peut plus servir à la détermination du plan de rupture, et la construction se complique beaucoup.

En opérant directement sur le faisceau donné, tous ces inconvénients disparaissent, et l'on obtient en même temps des constructions plus simples.

Deuxième série de solutions. — On sait qu'un faisceau involutif projette sur une conique quelconque passant par son sommet une involution de points.

Le faisceau donné $xx'yy'$ (*fig.* 6) projettera donc sur un cercle quelconque, passant par son sommet O, une involution XX'YY' dont le centre perspectif *P* est le point d'intersection des droites XX' et YY'.

Comme un rayon quelconque émanant du centre *P* détermine sur ce cercle un couple de points appartenant à la même involution, les points doubles seront les points de contact D des tangentes issues du centre *P*, et le plan de rupture sera OD.

On peut aussi obtenir les points doubles D d'une autre façon en remarquant que leur ligne de jonction est la polaire p du point *P*.

Or cette polaire doit passer (*fig.* 7) par le point d'intersection I des diagonales du quadrilatère XX'YY', et elle doit, en outre, être perpendiculaire au diamètre C*P*.

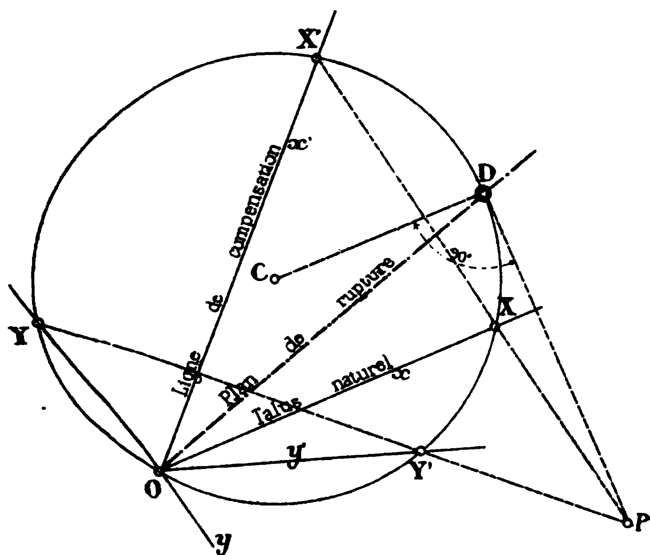

X'
x'
Ligne de compensation
D
C
90°
Plan de rupture
X
Y
Talus naturel
x
y'
Y'
O
P
y

FIG. 6.

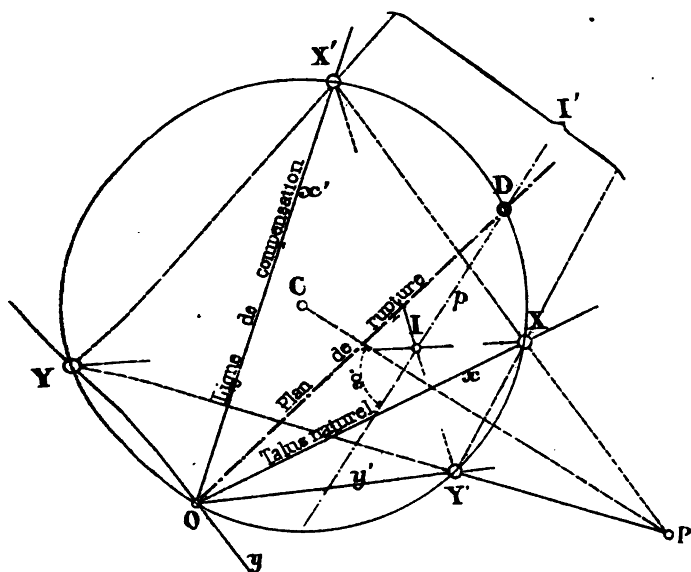

X'
I'
x'
D
Ligne de compensation
C
Plan de rupture
I
p
X
Y
x
Talus naturel
y'
Y'
O
P
y

FIG. 7.

Elle peut donc se tracer facilement et son intersection avec le cercle détermine le point D du plan de rupture OD.

La polaire *p* devant, en outre, passer par le point d'intersection I′ des côtés YX′ et Y′X du quadrilatère, cette propriété peut servir à la déterminer sans l'aide de son pôle *P*, dans le cas où le point I′ tombe dans les limites de l'épure.

Toutes ces constructions se simplifient beaucoup lorsqu'on choisit un cercle qui soit tangent en O à l'un quelconque des rayons du faisceau donné, et de préférence au rayon *y*′. En effet, dans cette dernière hypothèse, le centre C de ce cercle se trouve situé sur la perpendiculaire que nous avons désignée par H dans la *fig.* 2, le point Y′ des *fig.* 6 et 7 vient coïncider avec l'origine O, et le centre perspectif *P* tombe sur l'axe des *y*.

Construction pratique du plan de rupture. — La construction de la *fig.* 6, qui devient notamment très simple, se réduit alors à la *fig.* 8 et comprend les trois opérations suivantes :

1° D'un point C comme centre, pris arbitrairement sur la perpendiculaire H au terrain supérieur, traçons un cercle passant par O et coupant les rayons *x* et *x*′ aux points X et X′;

2° Marquons le pôle *P* qui se trouve à l'intersection de l'axe des *y* avec la sécante XX′;

3° Marquons le point de contact D de la tangente issue du pôle *P* qui est le pied de la perpendiculaire abaissée du centre C sur cette tangente et qui détermine le plan de rupture cherché OD.

Si le talus naturel *x* coupait le cercle sous un angle très aigu, il serait néanmoins facile d'obtenir le point X exactement, puisqu'il doit être le pied de la perpendiculaire abaissée du point E sur le rayon O*x*.

Cette construction présente les avantages suivants :

1° Elle nécessite très peu de place, tout en permettant d'obtenir le plan de rupture et, par suite, la poussée avec l'exactitude voulue ;

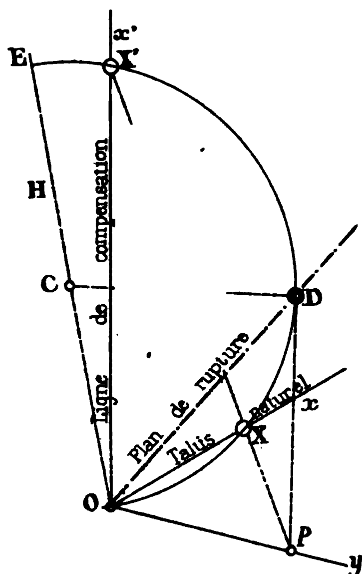


Fig. 8.

2° Elle est applicable dans tous les cas de la pratique, le centre C du cercle pouvant toujours être choisi de façon que le pôle *P* tombe dans les limites de l'épure ;

3° Lorsque, dans une étude de mur, l'on fait varier la ligne de compensation, le même cercle sert toujours à la détermination de la poussée correspondante.

VI. — Application numérique.

Cas général. — Soit OA (*fig.* 9), le parement intérieur d'un mur soutenant un massif OABZ, et B'Z' la ligne

représentative d'une surcharge uniformément réparti

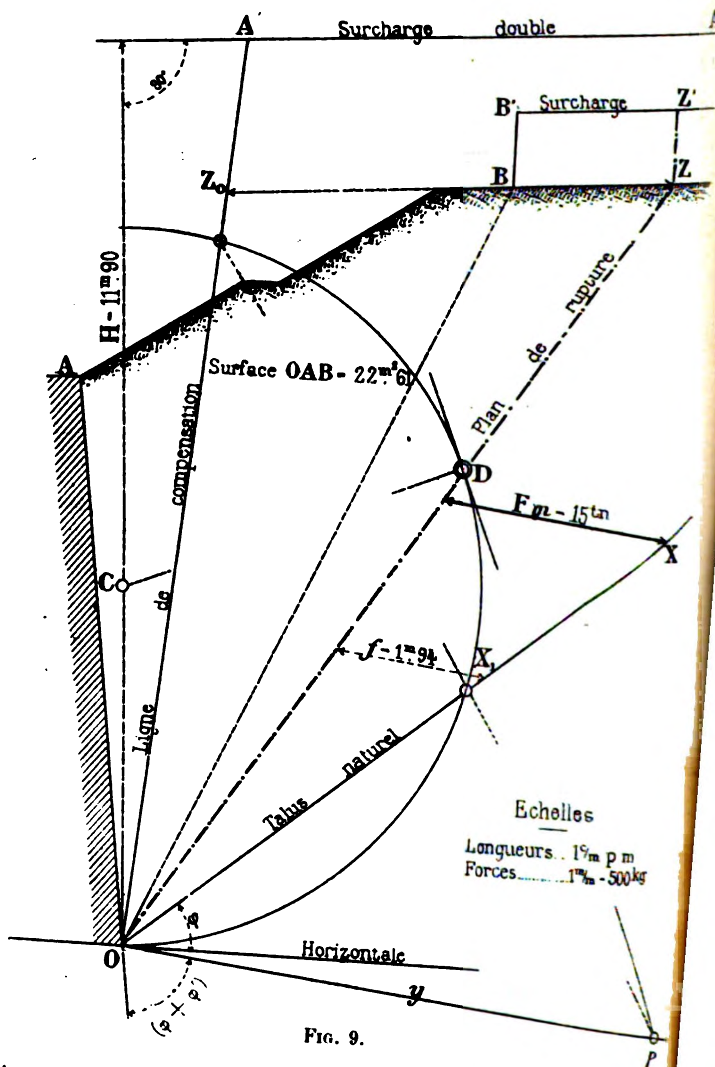


Fig. 9.

équivalente à une hauteur de terre BB'.

Menons parallèlement à BZ la ligne A′A″ représentant une surcharge double et déterminons la ligne de compensation OA′ de façon que :

Triangle OA′B = surface OAB, ce que l'on peut faire graphiquement ou par le calcul en remarquant que :

$$Z_0B = \frac{2 \text{ surface OAB}}{H} = \frac{45,22}{11,90} = 3^m,80.$$

Supposons que les angles de frottement soient :

$$\varphi = 40^\circ$$

et

$$\varphi' = 35^\circ.$$

L'angle que fera l'axe Oy avec le parement du mur sera :

$$(\varphi + \varphi') = 75^\circ.$$

Traçons un cercle quelconque passant par O, dont le centre C soit situé sur la perpendiculaire H, et déterminons les points *P* et D comme nous l'avons fait pour la *fig.* 8.

La densité δ du massif étant supposée égale à 1,3, le poids P du prisme de plus grande poussée sera :

$$P = Z_0Z \times \frac{H}{2} \times \delta = 5,80 \times \frac{11,90}{2} \times 1,3 = 44^T,9.$$

En portant à l'échelle des forces OX = P = $44_T,9$ et en menant par le point X une parallèle à l'axe Oy, on obtient le triangle des forces et la poussée maxima F_m = 15 tonnes.

Comme le poids P est proportionnel à Z_0Z, on peut aussi obtenir la poussée en faisant $OX_1 = Z_0Z$ et en menant par X_1 une parallèle f à l'axe des y. L'ordonnée f étant mesurée à l'échelle des longueurs, on a de même :

$$F_m = f \times \frac{H}{2} \times \delta = 1,94 \times \frac{11,90}{2} \times 1,3 = 15 \text{ tonnes}.$$

Cas particuliers. — Un cas qui se présente assez souvent en pratique est celui d'un mur vertical (*fig.* 10) soutenant un massif horizontal et supportant une surcharge uniformément répartie sur toute l'étendue du massif.

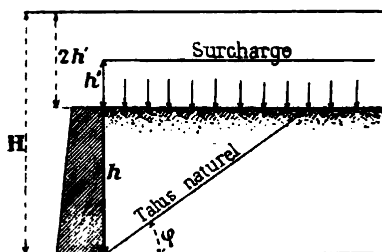


Fig. 10.

Les angles de frottement φ et φ′ peuvent, en outre, être considérés comme étant égaux, puisqu'ils sont toujours sensiblement les mêmes.

Dans cette hypothèse, l'expression analytique de la longueur que nous avons désignée par *f* sur la *fig.* 9 est :

$$f = \frac{\cos \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} h,$$

et la poussée maxima devient :

$$F_m = Hh\delta \frac{\cos \varphi}{2\,(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} = Hh\delta \times C.$$

Dans le cas où il n'existe pas de surcharge, on a $H = h$, et la poussée devient :

$$F_m = h^2\delta \times C.$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du coefficient C pour les différents angles de frottement φ compris entre 20° et 59°.

TABLEAU DES COEFFICIENTS C DE $Hh\delta$, DE $h^2\delta$.

φ	C	φ	C	φ	C	φ	C
20°	0,2134	30°	0,1486	40°	0,1051	50°	0,0740
21	0,2056	31	0,1435	41	0,1015	51	0,0714
22	0,1981	32	0,1385	42	0,0981	52	0,0689
23	0,1909	33	0,1338	43	0,0948	53	0,0664
24	0,1841	34	0,1293	44	0,0915	54	0,0639
25	0,1775	35	0,1249	45	0,0884	55	0,0616
26	0,1712	36	0,1206	46	0,0853	56	0,0592
27	0,1652	37	0,1165	47	0,0824	57	0,0570
28	0,1595	38	0,1126	48	0,0795	58	0,0548
29	0,1539	39	0,1088	49	0,0768	59	0,0526

NOTA. — Le signe – indique que la dernière décimale est forcée.

VII. — Point d'application de la poussée.

Méthode générale. — Pour déterminer le point d'application de la poussée, on peut, dans le cas le plus général, diviser le parement du mur en éléments Δs assez petits pour pouvoir supposer les poussées partielles ΔF appliquées au milieu de chaque élément, et composer ensuite ces poussées partielles par un funiculaire.

Comme le centre de pression des forces parallèles est absolument indépendant de leur direction, on peut donner aux forces ΔF une direction quelconque OC (*fig.* 11).

Le polygone des forces s'obtient simplement en portant successivement en 0-1, 0-2, 0-3, ..., des quantités égales ou proportionnelles aux poussées exercées sur les portions de mur AO_1, AO_2, AO_3, ...

En effet, la poussée agissant sur un élément quelconque Δs_3 est égale à la différence des poussées correspondant aux longueurs de mur AO_3 et AO_2.

En prenant comme pôle du polygone des forces un point quelconque de la droite OA, le sommet A par exemple,

on peut faire coïncider le premier côté du funiculaire avec

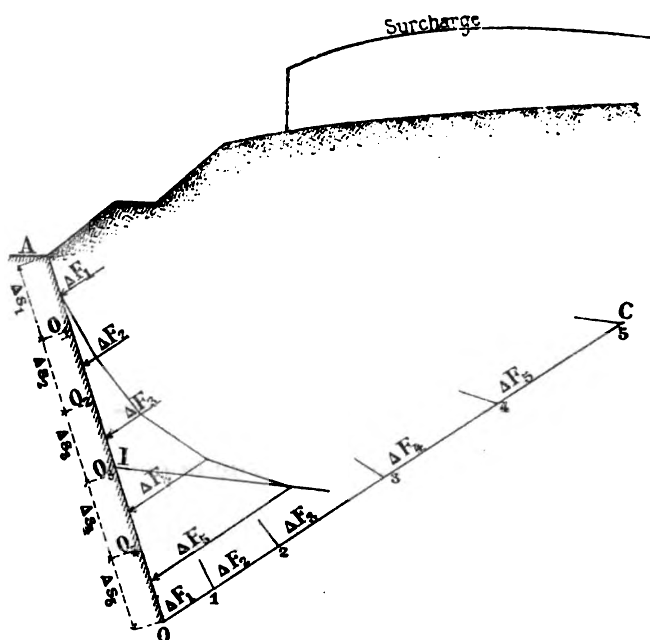


Fig. 11.

le parement du mur, et le dernier côté coupe alors sur ce parement le point d'application I de la poussée.

Cas particuliers. — Dans le cas particulier où le massif est limité par une ligne droite unique, et lorsque la surcharge est uniformément répartie sur toute l'étendue de cette droite, le problème se simplifie beaucoup.

En effet, les lignes de compensation se confondent alors avec le parement du mur, les plans de rupture correspondant à différentes hauteurs sont tous parallèles, et les triangles des forces donnant les poussées maxima sont semblables. Ces poussées sont, par suite, proportionnelles

aux surfaces des prismes surchargés détachés par les plans de rupture.

La poussée partielle ΔF agissant sur un élément quelconque Δs (*fig.* 12) est donc proportionnelle à la différence entre les surfaces des prismes surchargés détachés par les plans de rupture passant par ses extrémités, et comme les parallélogrammes pointillé et hachuré ayant pour base Z_1Z_2 et pour hauteur h' sont équivalents, cette différence est égale au trapèze hachuré dont la surface est :

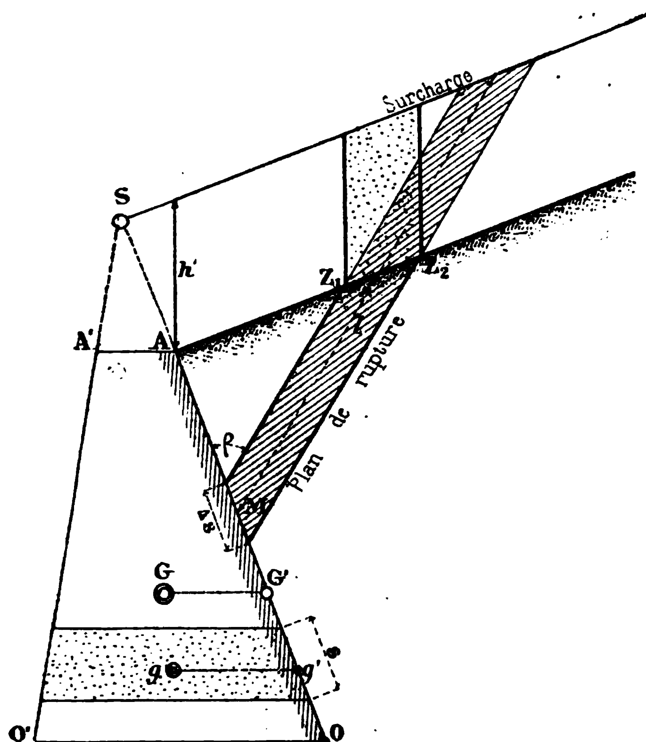


FIG. 12.

$$l\Delta s \sin \rho$$

Comme ρ est une constante et que Δs peut être pris égal à l'unité de longueur, cette unité pouvant du reste être choisie aussi petite que l'on veut, on voit que la pression par unité de surface en un point quelconque M du mur est proportionnelle à l'ordonnée l d'un triangle ayant son sommet en S.

On peut donc représenter ces pressions par une droite quelconque A'O' passant par S, et les mesurer suivant une direction quelconque OO'.

Le centre de pression, ou point d'application de la poussée, est par suite, la projection G', suivant la même direction, du centre de gravité G du trapèze formé sur OA.

Le point d'application de la poussée agissant sur un élément de longueur s serait de même la projection g' du centre de gravité g du trapèze pointillé correspondant à cet élément.

Si la surcharge était nulle, le trapèze AA'OO' se réduirait à un triangle, et le point d'application de la poussée serait situé au tiers inférieur du parement OA.

Si, au contraire, la surcharge était infiniment grande, ce trapèze deviendrait un rectangle et la poussée agirait au milieu du parement.

En pratique, on se rapproche beaucoup de cette dernière hypothèse lorsqu'on a un mur de faible hauteur supportant une très grande surcharge.

N° 8

NOTE

SUR

LE PONT-RIVIÈRE D'OUDAN

Par M. MAZOYER, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Après avoir décrit, dans les *Annales* de 1898 (2e trimestre), le pont-canal de Briare, nous croyons intéressant de rapprocher du passage d'un canal au-dessus d'un cours d'eau le cas inverse, le passage d'un cours d'eau au-dessus d'un canal.

Il existe déjà plusieurs exemples de la solution du passage supérieur pour cours d'eau.

Nous citerons notamment un pont supérieur à la ligne de Paris à Tours par Vendôme, type P. O. à culées perdues de 16 mètres d'ouverture, qui donne passage à la cuvette d'un petit ruisseau à la partie supérieure d'une forte tranchée aux abords de la gare de Château-Renault.

Récemment on a adjugé la construction d'une bâche métallique pour le passage de la rivière la Vendée au-dessus d'un canal d'irrigation.

Enfin, près de Roanne, la Compagnie qui a construit le canal de Roanne à Digoin ayant à rétablir le passage, jusqu'à la Loire, de la petite rivière d'Oudan, coupée par le canal qui longe le fleuve, a adopté cette même solution au moyen d'un ouvrage en maçonnerie, lourd d'aspect, très insuffisant comme hauteur sous voûte.

Voici les raisons qui l'ont, sans doute, déterminée à accepter cette combinaison.

Le déversement direct dans le canal d'une petite rivière sujette à des crues et, de plus, ayant des eaux limoneuses n'était pas admissible en raison :

1° Des interruptions périodiques de navigation par les courants ;

2° Des craintes de rupture en raison de la nécessité de digues à la suite des exhaussements brusques et anormaux du plan d'eau ;

3° De l'envasement constant de la cuvette, ainsi que de la gêne et des dépenses de curage qui en résulteraient.

Le passage inférieur au canal ne pouvait s'opérer que notablement au-dessous des crues de la Loire, et si on laissait libres les ouvertures du pont-canal ainsi construit, les eaux de la Loire remontant d'aval à l'amont par l'ouvrage et le lit de l'affluent pouvaient inonder tous les terrains situés entre le canal et le coteau, causer des dégâts, entraîner des indemnités par suite de l'aggravation des conditions naturelles de submersion. Enfin ces eaux de crue, après avoir pénétré entre le canal et le coteau, pouvaient revenir prendre à revers le canal, rendre inutile sa digue de protection contre les crues et causer de sérieux dégâts dans la cuvette.

Restait la solution de ménager sous le canal, pour le débit du fleuve, des ouvertures fermées par des clapets.

Seulement il faut être sûr que ces clapets, en temps de crues de l'affluent, pourront se manœuvrer facilement et rapidement, et, en outre, que quelqu'un sera chargé de la manœuvre et s'acquittera ponctuellement de sa consigne.

Or le point où le canal croise l'affluent est éloigné de toute écluse. Il eût donc fallu installer une maison de garde et un agent spécial près de l'ouvrage d'art avec une consigne à remplir à intervalles irréguliers et sans

aucun retard, toutes conditions sur la réalisation desquelles il est difficile de compter d'une manière absolue.

En présence de ces difficultés, la Compagnie préféra dévier la rivière d'Oudan suivant le tracé AMB (Voir plan général, pl. 4), même en plaçant le lit de la rivière entre deux digues en remblai (Voir la série des profils en travers), et l'amener à passer au-dessus du canal au moyen d'une voûte en maçonnerie supportant une cuvette située au-dessus de la zone des crues de la Loire. Cette cuvette était suivie immédiatement d'un puits vertical en maçonnerie pour faire tomber les eaux au niveau du sol naturel de la vallée de la Loire et les écouler ensuite vers le fleuve, après avoir passé sous le chemin de halage au moyen d'un ponceau ordinaire.

Les dessins (pl. 4) donnent d'ailleurs les dispositions de détail de cet ancien et curieux ouvrage.

Tout passage supérieur pour cours d'eau, s'il est bien et rationnellement étudié, suppose que les plus hautes eaux ne dépasseront pas les murs latéraux de la cuvette. On ne peut donc l'admettre que pour un cours d'eau d'un bassin restreint dont les plus hautes crues ne dépassent pas un niveau peu élevé au-dessus du plafond et bien connu.

L'expérience a révélé qu'il en était bien ainsi pour le pont-rivière en maçonnerie d'Oudan et, si ce n'eût été sa hauteur insuffisante au-dessus du plan d'eau actuel ($3^m,50$) et encore plus insuffisante au-dessus du plan d'eau surélevé ($2^m,90$), après les travaux d'amélioration en cours d'exécution, on eût pu le conserver.

Mais on a profité de ce qu'il fallait démolir la voûte en vue d'assurer le gabarit réglementaire de $3^m,70$ au-dessus du plan d'eau normal pour réaliser au moyen d'une bâche métallique de $17^m,70$ de portée entre appuis un passage supérieur pour deux voies de bateaux dans le canal au-dessous de la rivière d'Oudan.

C'est ce nouvel ouvrage dont nous allons décrire les dispositions principales et les conditions d'établissement.

De l'ouvrage ancien on a conservé toute la partie la plus proche de la Loire (le pont sous le chemin de halage, la descente d'eau verticale et presque tout le massif de la culée attenante). On a simplement aménagé cette culée du côté du canal, de manière à y recevoir les appuis de la bâche et un chemin de halage de $2^m,50$ sous cette bâche (Voir élévation générale, pl. 4).

L'autre culée de l'ancien ouvrage fut démolie entièrement et remplacée par une culée présentant les mêmes dispositions et dont l'emplacement était déterminé par cette condition que le canal dûment élargi du côté opposé à la Loire devait recevoir 10 mètres au plafond et également sous cette bâche, un second chemin de halage symétrique du premier et limité comme lui par un mur de soutènement en maçonnerie présentant un fruit de 1/10.

Les murs en retour de cette culée ont reçu un évasement, grâce auquel ils se raccordent avec les deux digues intérieures qui forment la cuvette de la rivière déviée.

La bâche est en fer constituée par deux poutres maîtresses pleines, de même hauteur que les bajoyers de l'ancienne cuvette maçonnée. La hauteur entre semelles inférieure et supérieure est de $2^m,90$. L'âme a une épaisseur de 9 millimètres. Elle est reliée aux semelles haut et bas par quatre cornières $\frac{100 \times 100}{10}$. Ces semelles sont constituées par des fers pleins de $\frac{300}{10}$ et existent en nombre variable proportionnellement à la valeur du moment fléchissant en chaque point de la poutre, ainsi qu'on le verra plus loin.

Ces deux poutres maitresses sont espacées de 6 mètres d'axe en axe et reliées par une série de pièces de pont distantes entre elles de $1^m,25$ et au nombre de 16 au total.

Ces pièces de pont supportent le fond de la bâche qui est constituée par une tôle de 9 millimètres d'épaisseur (dimension consacrée par l'expérience) et se relèvent avec cette tôle le long des parois des poutres maîtresses qu'elles viennent rejoindre à un niveau un peu plus haut que le tiers de leur hauteur, c'est-à-dire un peu plus haut que la limite de poussée de l'eau contre les poutres maîtresses, lorsque la bâche est pleine ($0^m,90$ au-dessus du fond de la bâche pour une hauteur de $2^m,555$ entre les semelles supérieures des poutres maîtresses et le dessus de ce même fond).

De la sorte, la nouvelle cuvette métallique présente une largeur de 6 mètres entre poutres maîtresses et une profondeur de $2^m,555$ entre les semelles supérieures et le fond de la bâche, soit une section maximum de 15 mètres carrés, après déduction des coins arrondis de la bâche à sa partie inférieure.

L'ancienne cuvette présentait 6 mètres de largeur, sur $2^m,25$ de profondeur, soit $13^{m2},50$ de section seulement.

Les pièces de pont sont constituées par un fer à double T présentant une âme de 8 millimètres reliée :

1° En haut, par deux cornières de $\frac{80 \times 120}{9}$ à des semelles de 250×8 ;

2° En bas, par deux cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ à des semelles de 220×8.

Le nombre des semelles est proportionné à la valeur des moments fléchissants.

Dans l'angle aigu du raccordement du fond courbe de la bâche avec les deux poutres maîtresses, on a dû poser des coins métalliques comme au pont-canal de Briare pour guider la tôle courbe et afin d'assurer à la fois plus de commodité, de précision et de rigidité à l'assemblage des deux parties de la bâche.

La raideur du fond de la bâche est assurée par un longeron central et quatre cours de fers à **T**, de manière à ce que ces cinq lignes de fers raidissants, parallèles à l'axe de la rivière, soient chacune régulièrement espacées de 1 mètre.

Un fer à **T** régnant horizontalement sur toute la longueur des poutres maîtresses est placé du côté extérieur vis-à-vis le raccordement du fond courbe de la bâche avec les poutres maîtresses.

A chaque entretoise correspond à l'extérieur des poutres maîtresses une console. Les consoles d'un même côté supportent, par l'intermédiaire de tôles cintrées, du béton maigre et un dallage de ciment formant les deux trottoirs qui prolongent, à la traversée du canal, les plates-formes des digues en terre de la rivière.

Un garde-corps régnant sur toute la bâche et les culées qui la précèdent et la suivent couronne l'ouvrage sur chaque tête.

Toute cette ossature métallique est en fer. Étant données ses dimensions usuelles et le travail correspondant, il n'y avait pas d'intérêt sérieux à l'exécuter en acier.

L'influence de la dilatation sur un ouvrage de moins de 18 mètres de longueur est faible.

Pour un écart de 50° et en prenant pour coefficient de dilatation du fer 0,000012, on n'arrive qu'à un allongement total de 0,0106.

Les dessins indiquent les dispositions générales du joint qui assure la mobilité des abouts de la bâche en même temps que son étanchéité. Le principe est le même qu'au pont-canal de Briare.

La bâche proprement dite glisse à frottement comme un piston dans une fausse bâche fixe boulonnée après les maçonneries ; le glissement s'opère par un fer en **U** boulonné après la bâche mobile. Une bande de caoutchouc, garantie par ce fer en **U** du côté de l'intérieur de la bâche

est reliée d'un côté à l'ossature mobile, de l'autre à la fausse bâche fixe.

Cette bande se plie en *v* plus ou moins selon les variations de température et les dilatations correspondantes. Ces dilatations ont d'ailleurs une amplitude très faible, comme on vient de le voir plus haut.

L'expérience a pleinement confirmé le succès de ces dispositions.

Les calculs de résistance relatifs aux poutres maîtresses et à leurs montants verticaux, aux entretoises porteuses, aux consoles extérieures et à la rivure de toute l'ossature métallique, en général, ont été joints au projet du 23 janvier 1895 et approuvés en même temps que lui par la décision ministérielle du 31 août suivant.

Il en résulte que le travail maximum imposé au métal ne dépasse, en aucun point, 6 kilogrammes par millimètre carré.

En outre des conditions ordinaires de résistance, la rivure de la bâche avait à satisfaire à une condition spéciale : l'étanchéité.

Cette condition a été parfaitement réalisée :

1° Pour l'assemblage des diverses tôles formant le fond de la bâche et pour les joints verticaux des âmes des poutres maîtresses par la rivure des couvre-joints espacés comme les pièces de pont de $1^{m},25$.

On a, de chaque côté du joint, disposé deux files de rivets de 20 millimètres de diamètre en quinconce, distantes entre elles de 60 millimètres et des joints à assembler de $37^{mm},5$ et $97^{mm},5$.

L'espacement des rivets dans chaque file est de 100 millimètres.

2° Pour l'assemblage de ces tôles formant le fond de la bâche avec les poutres maîtresses au tiers environ de la hauteur de ces poutres par deux files de rivets de 20 millimètres de diamètre, disposées en quinconce et

espacées entre elles de 60 millimètres, la plus voisine étant à $27^{mm},5$ du bord de la tôle courbe.

L'espacement des rivets dans chaque file est de 100 millimètres.

Chacun des appuis sur culée est appelé à supporter 1/4 de la charge totale maxima, soit :

$$\frac{20.200 \times 18.35}{4} = 92.668 \text{ kilogrammes.}$$

En prenant, pour coefficient maximum de travail du métal dans les appuis, $0^{kg},80$ par millimètre carré, l'on voit qu'ils doivent présenter une section minima de :

$$\frac{92.668}{0,80} = 115.835 \text{ millimètres carrés.}$$

Les terrassements et les maçonneries, ainsi que le montage de la bâche, ont été entièrement exécutés pendant les soixante jours du chômage de 1897.

Pendant cette période, la dérivation de la rivière d'Oudan a été barrée à l'origine et les eaux dirigées suivant l'ancienne rivière dans le thalweg géographique de la vallée secondaire. Cette disposition pouvait être risquée pendant la belle saison et pour peu de temps. Elle s'imposait, du reste, absolument.

La bâche a été construite dans cette dérivation ainsi préservée des eaux, à proximité de la nouvelle culée de l'ouvrage.

Elle a été lancée le 26 août 1897.

Le poids de l'ossature métallique peut s'établir ainsi:

Bâche et consoles...........	69.809	kilogrammes
Appuis mobiles..............	3.773	»
TOTAL	73.582	kilogrammes

Les fondations faites en terrain sableux et protégées

contre les chances, d'ailleurs faibles, d'affouillement dans la cuvette d'un canal n'ont présenté aucune difficulté spéciale autre que la rapidité nécessaire à leur exécution.

Les dépenses se résument ainsi :

Terrassements..................	3.081f,06
Maçonneries....................	25.608 ,65
Ossature métallique............	26.639 ,09
TOTAL................	55.328f,80

Le nouvel ouvrage a été mis en service aussitôt après le chômage, et les eaux de la rivière coulent maintenant régulièrement dans leur nouveau lit en fer au-dessus du canal. Il n'y a pas eu jusqu'à présent de crues importantes sur cette dérivation. Mais, à tous les points de vue, les conditions du passage de la rivière sur le canal ont été améliorées, et cet exemple démontre la possibilité de construire des bâches métalliques aussi bien pour des cours d'eau naturels que pour des canaux, du moment où l'on connait avec certitude le niveau des plus hautes eaux des rivières en question.

Nevers, le 27 septembre 1898.

N° 9

LE PONT J.-F.-LÉPINE

Par L. BIETTE,
Ingénieur des Ponts et Chaussées, attaché au Service Municipal des Travaux de Paris.

Description du pont J.-F.-Lépine.

La rue Jean-François-Lépine, livrée récemment à la circulation dans le XVIIIe arrondissement de Paris, et qui relie la rue de la Chapelle à la rue Stéphenson, traverse la tranchée du chemin de fer du Nord sur un pont en acier d'une seule travée.

Les culées de cet ouvrage, dont les dispositions ne présentent d'ailleurs rien de particulier, sont constituées par une maçonnerie de meulière au mortier de ciment de Portland, dosé à raison de 450 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable. Les parements sont en moellons de meulière piquée ; les corniches, pilastres, chaînes d'angle, en pierre de taille de Lérouville ; les sommiers d'appui du tablier métallique en pierre dure de Souppes.

Le tablier métallique se compose de deux poutres de rives réunies à la partie inférieure par des entretoises. Entre ces entretoises, sont disposés des longerons qui supportent un platelage en tôles embouties, sur lequel reposent la chaussée et les trottoirs.

La chaussée est constituée par un pavage en bois de 0^m,120 d'épaisseur, établi sur fondation en béton séparée du platelage métallique par une chape en asphalte de 0^m,020

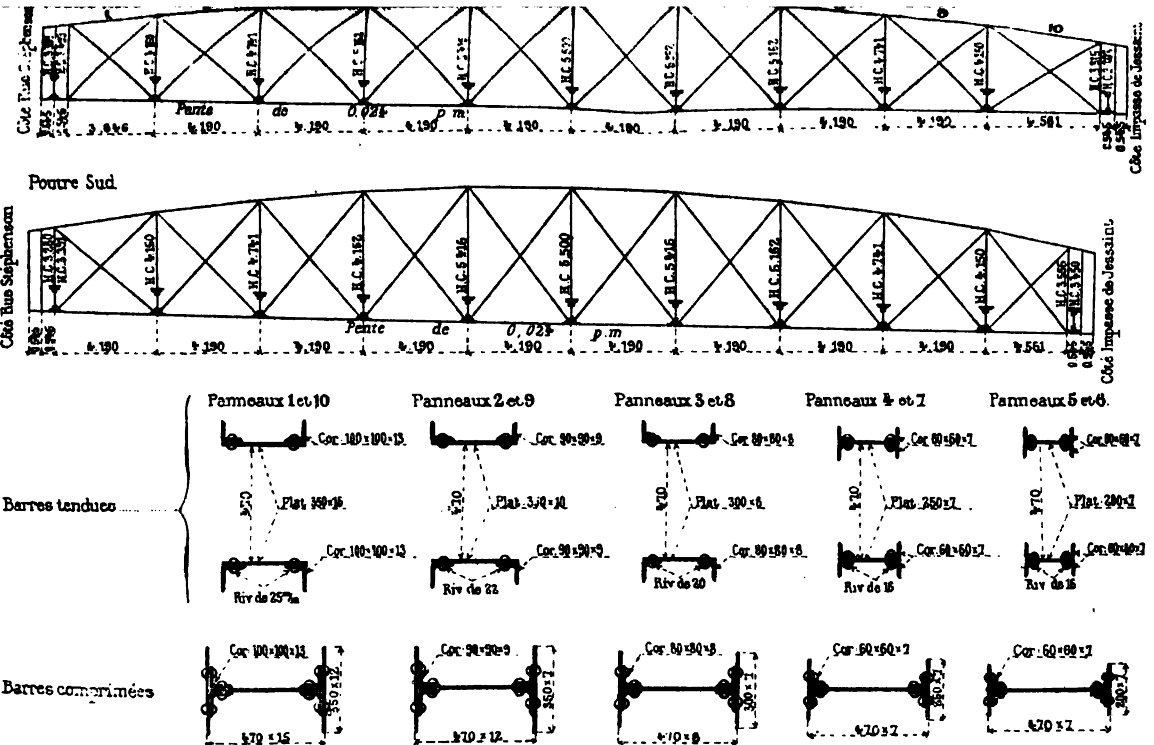

Poutre Sud
Côté Rue Stéphenson
Côté Impasse de Jessaint
Pente de 0,025 p.m
Panneaux 1 et 10
Panneaux 2 et 9
Panneaux 3 et 8
Panneaux 4 et 7
Panneaux 5 et 6.
Barres tendues
Barres comprimées

Fig. 1.

d'épaisseur. Les trottoirs sont formés, à la manière habituelle, d'une couche de bitume de $0^m,015$ d'épaisseur, coulée sur une fondation en béton.

Les poutres de rive, dont on trouvera les dessins sur la pl. 5, sont du type Bow-String à semelle inférieure rectiligne et à semelle supérieure polygonale affectant la forme générale d'une parabole. Chacune d'elles est

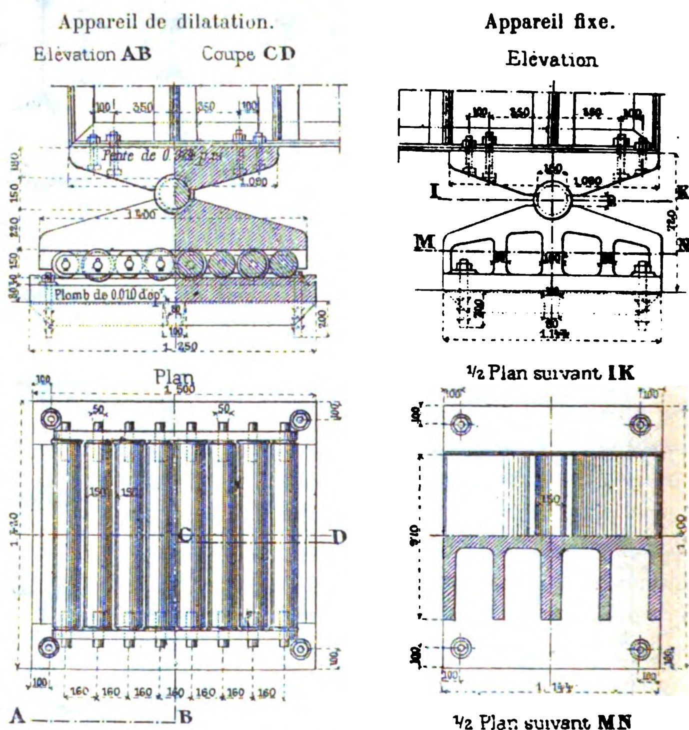


Fig. 2.

formée de deux poutres jumelles réunies par des montants verticaux espacés de $4^m,19$ d'axe en axe. Des diaphragmes relient, en outre, au milieu de chaque panneau, les âmes de ces deux poutres jumelles.

Les poutres de rives reposent par un appui fixe à rotule sur la culée est (côté de la rue de la Chapelle), et par un appui mobile, permettant la dilatation, et également à rotule, sur la culée ouest (côté de la rue Stéphenson).

Les deux culées n'étant pas parallèles, les dimensions des deux poutres sont légèrement différentes. Voici ces dimensions :

	POUTRE NORD (côté de la Chapelle)	POUTRE SUD (côté de Paris)
Distance de nu à nu des culées........	40m,420	40m,030
Longueur totale......................	43 ,905	43 ,240
Portées entre axes des appuis.........	42 ,815	42 ,150
Hauteur à l'extrémité Ouest...........	3 ,280	3 ,160
Hauteur au milieu....................	5 ,500	5 ,500
Hauteur à l'extrémité Est.............	3 ,090	3 ,340

La largeur du pont, entre les axes des poutres jumelles intérieures, est de 15 mètres ; elle est de 14m,400 entre les grilles qui limitent la voie publique. Enfin le pont présente une pente générale de 0m,024 par mètre vers la culée est.

Les membrures de chacune des poutres jumelles sont constituées par une âme de 600 × 15, deux cornières de 120 × 120 × 15, et un nombre variable de semelles ayant 470 millimètres de largeur, et une épaisseur totale variant de 15 à 51 millimètres (pl. 5).

Les montants verticaux, qui relient les deux poutres jumelles d'une même poutre de rive, sont formés d'une âme de 455 × 10, de huit cornières de 100 × 100 × 10 et de fourrures de 250 × 15 et de 100 × 10 (pl. 5).

Les diaphragmes qui, au milieu de chaque panneau, réunissent les âmes des deux poutres jumelles, sont constitués par une âme de 15 millimètres et par quatre cornières 100 × 100 × 12.

Les barres de treillis comprimées ont la forme d'un

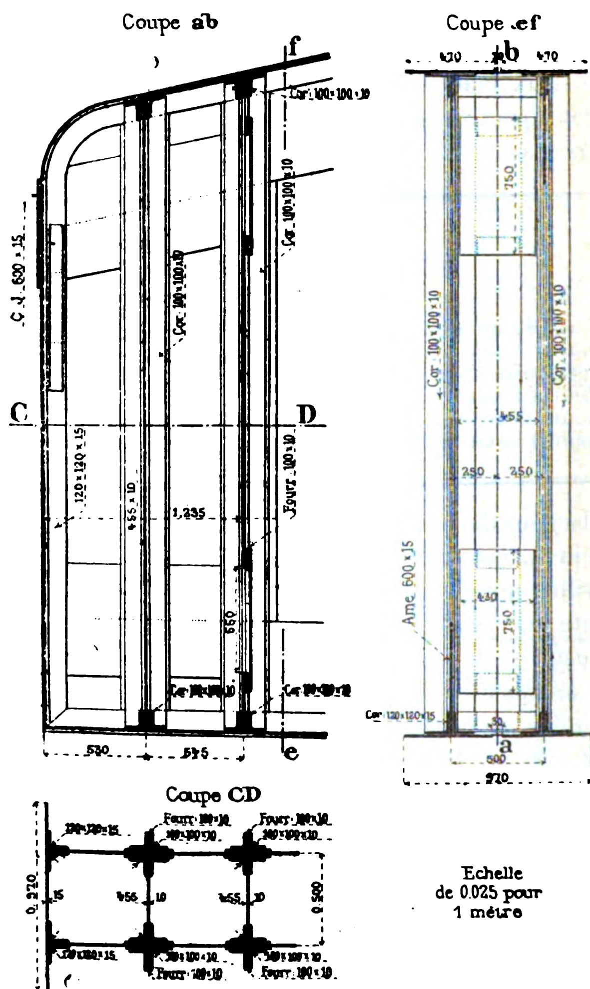


Fig. 3. — Montant d'about. — Poutre nord. — Côté rue Stéphenson.

double **T** en tôle et cornières, et les barres tendues, celle d'un double **U** également en tôle et cornières. Toutefois,

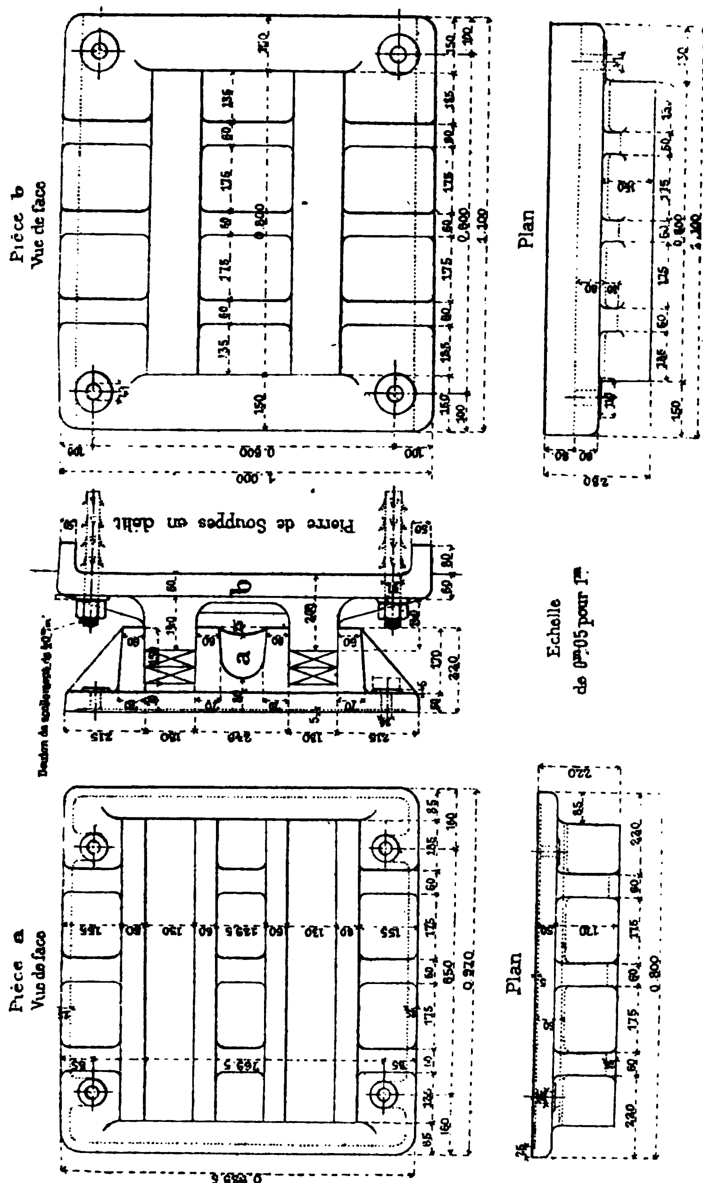


Fig. 4. — Appareils de butée.

en vue du lançage, il a fallu renforcer les barres tendues des quatre panneaux centraux, afin qu'elles pussent résister à l'effort de compression accidentel qu'elles devaient supporter pendant cette opération. On a donné, en conséquence, à chacune de ces barres la forme d'un double T (*fig.* 1).

Au droit de chaque montant vertical se trouve assemblée une entretoise composée d'une âme de 1000 × 10, de quatre cornières de 120 × 120 × 12, et d'un nombre variable de semelles de 500 de largeur, dont l'épaisseur totale varie de 12 à 46 millimètres (pl. 5, *fig.* 4).

Les longerons sont constitués par une âme de 600 × 8 et par quatre cornières de 100 × 100 × 12 (pl. 5).

Les tôles embouties qui supportent la chaussée et les trottoirs ont 7 millimètres d'épaisseur et 90 millimètres de flèche. Elles sont rivées sur les entretoises et les longerons (pl. 5).

Enfin deux poutrelles de rive, constituées chacune par une âme de 500 × 8 et par quatre cornières de 100 × 100 × 10, supportent les grilles en fer forgé qui limitent la voie publique (pl. 5).

Le tablier est entièrement construit en acier doux laminé provenant des aciéries de Longwy (Meurthe-et-Moselle) et des Forges de la Providence à Hautmont (Nord). La charge de rupture à la traction de cet acier a été, en moyenne, de 45 kilogrammes par millimètre carré de section, et son allongement à la rupture de 22 0/0 en moyenne.

Les balanciers et les plaques d'appui et de butée sont en acier moulé, les rouleaux de dilatation en acier forgé; les *fig.* 2 et 4 donnent le détail de ces appareils. Les aciers forgés et les aciers moulés proviennent des aciéries Robert à Lens.

La grille en fer forgé a été exécutée par M. Bernard, constructeur à Paris.

Le poids total du métal entrant dans la construction du tablier métallique du pont J.-F.-Lépine est de 450.273 kilogrammes, savoir :

Acier laminé..............	407.586 kilog.
Acier moulé et forgé........	26.038 —
Fer forgé..................	16.649 —

Calcul des poutres de rives et coefficients de travail

Les formules indiquées par M. l'ingénieur en chef Résal pour le calcul des poutres de hauteur variable (*), appliquées aux poutres de rives du pont J.-F.-Lépine, conduisent aux résultats suivants, en supposant la semelle inférieure horizontale (**) :

$$\begin{aligned} X &= - Sa \cos\alpha + S'a' \\ 0 &= S \cos\alpha + S' \\ V &= - S \sin\alpha + W. \end{aligned}$$

Dans ces formules, X, V et W représentent respectivement le moment fléchissant, l'effort tranchant et l'effort tranchant réduit.

On en tire facilement :

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} S &= - \frac{X}{h \cos\alpha} \\ S' &= \frac{X}{h} \\ W &= - T \cos 0 = V - \frac{X}{h} \operatorname{tang} \alpha. \end{aligned} \right.$$

Ces trois formules peuvent encore se déduire d'une méthode indiquée par Ritter et signalée par M. Koechlin dans ses *Applications de la Statique graphique* (***).

(*) *Ponts métalliques*, t. II, p. 323.

(**) En réalité, la semelle inférieure est en pente de 24 millimètres par mètre. Nous indiquerons plus loin comment il convient de modifier les formules, si l'on veut tenir compte de cette pente.

(***) *Applications de la Statique graphique*, p. 85.

Considérons (*fig.* 5) un tronçon de la poutre limité par un plan vertical MN, en équilibre sous l'action de la résultante des forces extérieures V et des efforts S, S' et T, développés dans les membrures et dans la barre de treillis AB'. En prenant les moments successivement par rapport aux points B', A et D, on obtient les trois relations :

$$Vb - S'h' = 0$$
$$Va + Sh \cos\alpha = 0$$
$$-Vd - Tm = 0.$$

Remarquons que V n'est autre chose que l'effort tranchant correspondant au panneau AA'BB', que Va et Vb sont les moments fléchissants X_A et X_B correspondant aux points A et B, et enfin que :

$$\frac{d}{m} = \frac{DA - a}{m} = \frac{h \operatorname{cotang} \alpha - a}{h \operatorname{cotang} \alpha \cos\theta} = \frac{1}{\cos\theta} - \frac{a \operatorname{tang} \alpha}{h \cos\theta}.$$

Transformons, en conséquence, les trois équations que nous venons d'obtenir, nous obtiendrons :

$$(2) \qquad \left\{ \begin{aligned} S &= -\frac{X_A}{h \cos\alpha} \\ S' &= \frac{X_B}{h'} \\ -T\cos\theta &= V - \frac{X_A}{h} \operatorname{tang} \alpha. \end{aligned} \right.$$

Il est facile de voir que les équations (2) sont, au fond, identiques aux équations (1), obtenues par la méthode de M. l'Ingénieur en chef Résal.

C'est d'après ces équations que le calcul des poutres du pont J.-F.-Lépine a été effectué. Dans l'application, on a d'abord supposé que la poutre était constituée par les membrures et les barres de treillis montant à droite (traits pleins), puis par les membrures et les barres de treillis montant à gauche (traits ponctués).

Les formules relatives à ce second cas sont les suivantes :

$$
(2)' \quad \begin{cases} S_1 = -\dfrac{X_B}{h' \cos \alpha} \\ S'_1 = \dfrac{X_A}{h} \\ T \cos \theta_1 = V - \dfrac{X_B}{h} \operatorname{tang} \alpha. \end{cases}
$$

On a d'ailleurs supposé dans le calcul que la charge et les surcharges se répartissaient par parties égales entre les deux systèmes de barres de treillis.

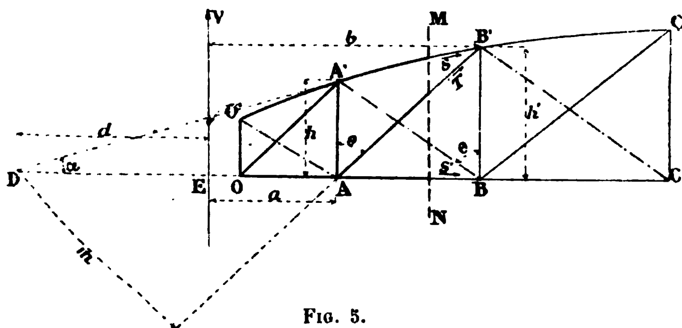


Fig. 5.

Il est à remarquer, dans ces conditions, que les efforts qui se produisent dans les membrures sont respectivement égaux à $S + S_1$ et à $S' + S'_1$, les quantités S, S_1, S', S'_1 étant calculées en supposant que la poutre ne supporte que la moitié de la charge et des surcharges.

On peut généraliser les formules (2) de manière à tenir compte de l'inclinaison α' de la plate-bande inférieure sur l'horizon. Le calcul, qui ne présente aucune difficulté, conduit au résultat suivant :

$$
(3) \quad \begin{cases} S = -\dfrac{X_A}{h \cos(\alpha - \alpha')} \\ S' = \dfrac{X_B}{h \cos \alpha'} \\ -T \dfrac{\cos(\theta - \alpha')}{\cos \alpha'} = V - \dfrac{X_A}{h} \operatorname{tang}(\alpha - \alpha') - \dfrac{X_A}{h} \operatorname{tang} \alpha. \end{cases}
$$

Les formules (3) sont celles qui, en toute rigueur, auraient dû être appliquées au pont J.-F.-Lépine dont le tablier, comme il a été dit plus haut, est en pente de 24 millimètres par mètre ; mais nous nous sommes assuré que les différences entre les valeurs obtenues pour S, S' et T par l'emploi des formules (2) et (3) étaient insignifiantes, de telle sorte que nous nous sommes arrêté à l'emploi des formules (2) dont le maniement est beaucoup plus commode.

On peut encore se servir, pour déterminer T, d'une formule très simple, qui a sur les précédentes l'avantage de dispenser de la recherche préalable de l'effort tranchant. Reportons-nous à la *fig.* 5 et projetons les forces sur la direction de la membrure inférieure, supposée horizontale. Nous aurons :

$$S \cos \alpha + S' + T \sin \theta = o.$$

Mais d'après les équations (2) :

$$S = -\frac{X_A}{h \cos \alpha} \qquad \text{et} \qquad S' = \frac{X_B}{h'}.$$

Il en résulte que :

$$T \sin \theta = \frac{X_A}{h} - \frac{X_B}{h'}.$$

On a donc finalement le groupe d'équations :

$$(4) \qquad \left\{ \begin{aligned} S &= -\frac{X_A}{h \cos \alpha} \\ S' &= \frac{X_B}{h'} \\ -T \sin \theta &= \frac{X_B}{h'} - \frac{X_A}{h}. \end{aligned} \right.$$

On obtiendrait d'ailleurs des formules analogues en considérant la poutre formée par les membrures, les mon-

tants verticaux et les barres de triangulation montant à gauche (barres en traits ponctués).

Le calcul des poutres de rive du pont J.-F.-Lépine a été fait d'après les formules qui précèdent et conformément aux prescriptions du Règlement ministériel du 29 août 1891. La limite du travail a été déterminée par la formule : $R = 8^{kg} + 4\frac{A}{B}$ pour les éléments toujours tendus ; par la formule : $R = 8^{kg} - 4\frac{A}{B}$ pour les éléments alternativement tendus et comprimés ; et enfin par la formule : $R' = \dfrac{8 + 4\frac{A}{B}}{1 + k\frac{l^2\Omega}{I}}$ pour les éléments toujours comprimés.

On sait que, dans ces formules, A et B représentent les efforts minima et maxima auxquels peuvent être soumis les éléments de l'ouvrage sous l'action de la charge permanente et des diverses surcharges susceptibles d'être réalisées : charge morte, voiture de 16 tonnes, rouleaux compresseurs. Le dénominateur de la valeur de R′ n'est autre que le coefficient de correction dont M. l'Ingénieur en chef Résal conseille de tenir compte dans le calcul du coefficient du travail des pièces comprimées (*).

Le travail maximum dans les membrures varie de $6^{kg},4$ à $9^{kg},4$, alors que la limite admissible est de $10^{kg},7$.

Dans les barres de treillis tendues, le travail varie de 7 kilogrammes à $9^{kg},8$, et dans les barres comprimées de $4^{kg},4$ à 8 kilogrammes. Les limites réglementaires oscillent, pour les barres tendues, entre 9 kilogrammes et $10^{kg},8$, et pour les barres comprimées entre $5^{kg},6$ et $8^{kg},4$.

(*) *Constructions métalliques. — Fonte, fer et acier*, p. 508 et suivantes.

Le travail maximum dans la rivure des treillis est de 8^{kg},3, alors que la limite réglementaire atteint 8^{kg},6.

Comme nous l'indiquons plus loin, le tablier métallique a été mis en place par voie de lancement.

Les efforts susceptibles de se produire pendant le lancement, tant dans la membrure inférieure que dans le treillis, ont été calculés à la manière ordinaire, en considérant le système formé par la poutre et l'avant-bec comme une poutre reposant sur deux ou plusieurs appuis suivant les phases, et soumises à des charges uniformes de valeurs différentes correspondant à la répartition uniforme du poids du tablier et de l'avant-bec sur les longueurs respectives de ces deux parties. On a tenu compte, en outre, de l'effort local. Le calcul ne présente rien d'intéressant au point de vue théorique; nous n'insisterons pas.

Exécution des travaux.

Maçonneries. — L'exécution de la culée haute (côté de la rue Stéphenson) et des murs de soutènement aux abords n'a donné lieu à aucune difficulté. Ces maçonneries reposent sur le gypse que l'on a trouvé en place, à peu de profondeur, au-dessous des voies du chemin de fer du Nord.

L'exécution de la culée basse (côté de la rue de la Chapelle) a donné lieu, au contraire, à d'assez sérieuses difficultés. D'après les sondages exécutés dans le voisinage immédiat de l'emplacement de cette culée, on comptait fonder sur le gypse à 1 mètre environ en contre-bas du rail. En exécution, on s'est trouvé en présence d'un terrain très varié dont la coupe figurée sur la pl. 5, *fig.* 5, donne une idée exacte. Sur le tiers environ de la culée, du côté sud, nous avons rencontré, sous un remblai assez important, des bancs alternés de gypse et de marne qui

nous ont obligé à descendre les fondations à 5 mètres environ au-dessous du rail. Un puits de contrôle a été descendu à 10 mètres au-dessous de ce niveau, afin de s'assurer de la résistance du terrain sous-jacent.

Dans le tiers médian de la culée on s'est trouvé en présence d'un remblai de carrière avec blocs de gypse de diverses grosseurs, qu'il a fallu traverser par un puits descendu jusqu'à la marne compacte, à 13 mètres au-dessous des rails.

Enfin, dans le dernier tiers de la culée, du côté nord, on a rencontré une poche remplie de sable et d'argile qui a nécessité la descente d'un second puits dont la profondeur a atteint 16 mètres.

Ces deux puits, qui présentent une section rectangulaire de 12 mètres carrés environ de superficie, ont été d'une exécution très difficile, tant en raison du terrain traversé qu'en raison du voisinage immédiat des voies empruntées par les trains-tramways et les trains de ceinture, qui s'y succèdent d'une façon presque ininterrompue.

Les deux puits ont été remplis avec de la maçonnerie de meulière au mortier de ciment reposant sur une couche de béton. Ils ont été reliés entre eux et aussi avec les massifs de fondation adjacents par des voûtes en meulière, et c'est sur cet ensemble qu'a été établi le corps de la culée proprement dite.

Mise en place du tablier métallique. — La mise en place du tablier métallique n'a pu se faire sur pont de service, par suite de la disposition particulière des voies du chemin de fer du Nord à l'emplacement du pont.

L'axe du pont J.-F.-Lépine tombe en effet, en plan, à peu près à l'aplomb du point de croisement des deux voies en X qui forment la bretelle d'accouplement des voies principales de l'avant-gare de Paris. Il n'était pas possible de placer en ce point les palées indispensables pour sou-

tenir un pont de service, et on a dû prendre le parti de lancer le pont par-dessus le chemin de fer.

Le tablier métallique a été, en conséquence, construit à terre, du côté de la culée ouest (la plus élevée), puis muni d'un avant-bec relié à chacune des deux poutres de rive par une contre-fiche réunissant les membrures supérieures de ces poutres à celles de l'avant-bec, par un montant rivé sur chacun des abouts des poutres, et enfin par des couvre-joints reliant les semelles inférieures de l'avant-bec à celles de la poutre.

Cet avant-bec n'a pas été construit spécialement en vue du lançage du pont J.-F.-Lépine. Les constructeurs avaient eu auparavant à lancer sur la Seine deux viaducs importants : ceux d'Oissel et de Tourville sur la ligne de Paris au Havre ; c'est l'avant-bec ayant servi au lancement de ces deux viaducs qui, convenablement modifié, a été employé au pont J.-F.-Lépine.

Sa longueur était de 26^{m},75; il se composait de deux poutres à treillis réunies entre elles par des contreventements horizontaux et verticaux. Le détail de ces poutres et de leurs attaches avec le tablier métallique est figuré sur la pl. 5.

Les membrures supérieures et inférieures des poutres de l'avant-bec étaient formées d'une âme de 0^{m},75 à 1 mètre de hauteur, et de 11 à 13 millimètres d'épaisseur, de deux cornières de 120 × 120 × 12 et d'une semelle de 600 × 13. La membrure inférieure possédait, en outre, une semelle de roulage de 250 × 13. Les barres de treillis étaient formées de deux cornières accolées de 100 × 80 × 9 à l'avant et de 100 × 100 × 11 à l'arrière.

Pour le lancement, le tablier a été placé sur des galets de roulement en acier coulé de 600 millimètres de diamètre disposés par groupes, de façon à constituer quatre appuis pour chacune des deux poutres de rive. Ces galets

étaient fixés sur des balanciers en acier coulé reposant, par l'intermédiaire de rondelles Belleville, sur des calages en charpente.

Au début, on avait eu la pensée de lancer le tablier avec sa pente définitive de 24 millimètres par mètre; mais au dernier moment les constructeurs ayant manifesté la crainte qu'une pente aussi forte ne permît pas de rester suffisamment maître du mouvement, on prit le parti de réduire cette pente à 12 millimètres par mètre.

Le déplacement du tablier a été obtenu au moyen de chaînes actionnées par quatre treuils Bernier de la force de 2.500 kilogrammes, solidement fixés à deux estacades en charpente, constituées par des pieux battus dans le sol et convenablement moisés et entretoisés.

Chacun des treuils était mû par trois hommes. Deux treuils de secours avaient été fixés, en outre, sur les estacades, afin de pouvoir ralentir, le cas échéant, la marche du tablier.

Le calcul indiquait que la force nécessaire pour mettre le tablier en mouvement était de 17.000 kilogrammes. Au moment du lançage, le tablier pesait environ 400.000 kilogrammes et l'avant-bec 50.000 kilogrammes, soit au total 450.000 kilogrammes. L'ensemble étant en pente de 12 millimètres par mètre, la composante de la pesanteur était d'environ 5.400 kilogrammes. La force développée par les treuils devait donc être d'au moins 11.600 kilogrammes. Par suite de la disposition des chaînes, on pouvait exercer sur le tablier une traction de 20.000 kilogrammes.

Le lancement devant être exécuté sans interrompre l'exploitation du chemin de fer du Nord, il convenait de s'assurer au préalable que l'opération pouvait être effectuée sans crainte d'accident. A cet effet, le pont muni de son avant-bec étant à terre, a été placé, au moyen de calages provisoires, dans les diverses positions suscep-

tibles de déterminer les plus grands efforts dans les différentes parties de l'ouvrage. Ces essais ayant confirmé pleinement les résultats du calcul, et aucune fatigue ne s'étant produite, soit dans le tablier, soit dans l'avant-bec, on a procédé au lancement, les 23 et 24 août 1897. Dans la journée du 23, on a avancé de 27 mètres, de manière à amener l'avant-bec complètement en porte-à-faux au-dessus des voies. L'opération a été achevée dans la matinée du 24, et elle s'est effectuée sans le moindre incident et sans que l'exploitation du chemin de fer du Nord ait eu à en souffrir un seul instant.

Défalcation faite des arrêts, le lancement a duré exactement trois heures dix-sept minutes, ce qui, pour une longueur totale de 68 mètres, correspond à une vitesse moyenne de $0^{m},325$ à la minute.

On a représenté sur la *fig.* 6, d'une manière schématique, les différentes phases du lancement.

Cette opération terminée, il a fallu descendre le tablier d'une hauteur de $2^{m},50$ environ, pour le faire reposer sur ses appuis définitifs. De plus, pendant le lancement, le tablier s'était trouvé déporté d'environ $0^{m},30$ au nord de sa position finale, et il était, en outre, resté en arrière de cette position d'environ $0^{m},20$. Pour descendre le tablier, on l'a fait reposer sur quatre piles de traverses en chêne placées sous chaque panneau d'about. Au moyen de vérins hydrauliques, on soulevait successivement chaque extrémité du tablier, on enlevait la traverse supérieure des deux calages correspondants, puis on laissait retomber le tablier sur les calages en lâchant les vérins.

Pour remettre le tablier en plan à sa place définitive, on a opéré comme suit : on a soulevé l'extrémité du tablier reposant sur la culée basse avec des vérins placés sous chacun des abouts des poutres de rive. Deux autres vérins ont été, en outre, placés sous chacun des abouts, et on a intercalé entre la tête de ces vérins et les semelles

inférieures des poutres une forte pince ronde en fer. Enfin une robuste béquille en bois de chêne a été placée

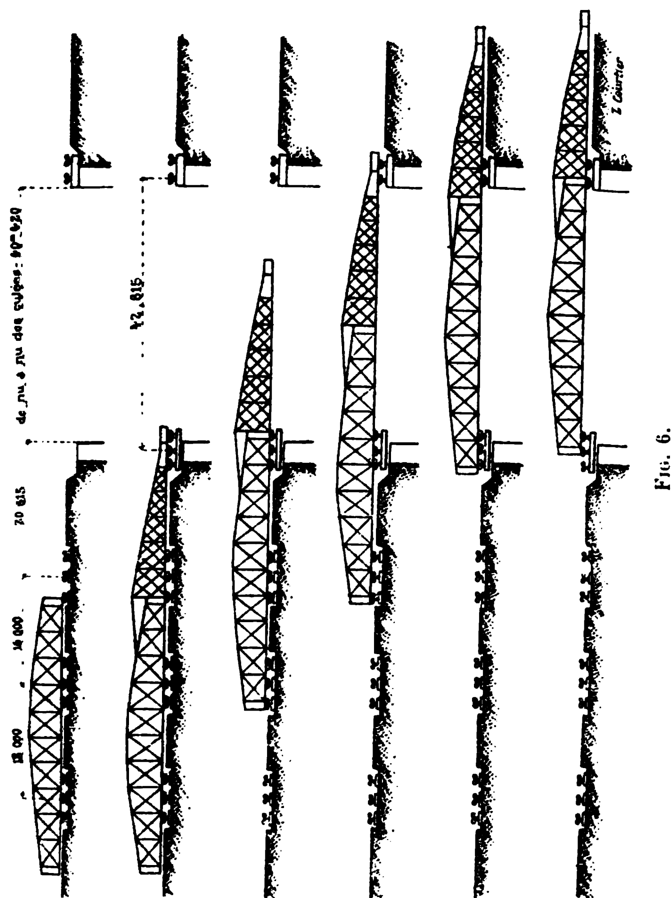


Fig. 6.

obliquement, dans un plan perpendiculaire à la poutre, de façon que l'une de ses extrémités fût appuyée sur la semelle inférieure, l'autre reposant sur les maçonneries de la culée. En lâchant les vérins, la béquille faisait dévier le tablier dans la direction voulue, et la pince ronde

facilitait le déplacement transversal. Ce procédé très simple a permis d'opérer avec la plus grande précision. Le déplacement du tablier dans le sens longitudinal a été obtenu de la même manière.

Le pont a été mis définitivement en place le 16 septembre 1897, et la rue J.-F.-Lépine a été livrée à la circulation le 20 novembre 1897.

Épreuves.

Le tablier métallique du pont J.-F.-Lépine a été soumis les 15, 16 et 17 novembre 1897, aux épreuves prescrites par le Règlement ministériel du 27 août 1891.

La disposition des voies au-dessous de l'ouvrage ne nous a permis d'installer pour la mesure des flèches qu'un seul appareil enregistreur. Cet appareil, du système de M. l'Ingénieur en chef Rabut, a été placé sur la poutre Sud à une distance de $2^{m},70$ comptée, en se dirigeant vers la culée haute, du montant central de la poutre, soit à une distance de $18^{m},80$ de l'appui sur la culée haute, et à une distance de $23^{m},35$ de l'appui sur la culée basse.

L'enregistreur Rabut a été décrit dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (livraison d'octobre 1896); nous ne reviendrons pas sur cette description, et nous nous bornerons à signaler que le fil de l'enregistreur était fixé, d'un bout, à un piquet enfoncé dans le sol, et de l'autre à la semelle supérieure de la poutre jumelle extérieure, et que l'appareil lui-même était porté par une planchette solidement reliée à l'âme inférieure de la même poutre.

Nous avons reproduit sur la pl. page 154 *bis* (*fig.* 1 à 13) les principaux diagrammes obtenus au moyen de l'enregistreur.

Le diagramme n° 1 est celui de l'épreuve par poids mort. Il a été fait usage, pour obtenir ce diagramme, d'un

cylindre à marche très lente déroulant le papier avec une vitesse de 11 millimètres à l'heure. Le graphique donne les variations de la flèche pendant la charge de la moitié du tablier, côté de la culée basse, qui a eu lieu le 15 novembre 1897 de $8^h,35$ à $10^h,45$ du matin; puis pendant l'achèvement de la charge complète du tablier, le 16 novembre de $7^h,55$ à $10^h,45$ du matin; ensuite, pendant le déchargement de la chaussée, le 16 novembre de $1^h,15$ à $4^h,35$ du soir; enfin, pendant le déchargement des trottoirs, le 17 novembre, de $4^h,20$ à $6^h,10$ du soir.

La courbe obtenue présente quelques particularités intéressantes. Ainsi, par exemple, le 15 novembre, vers $1^h,45$ de l'après-midi, la flèche, qui était de $2^{mm},1$ à $10^h,45$ du matin, à la fin du chargement, n'est plus que de 1 millimètre. Elle reprend sa valeur primitive vers 4 heures de l'après-midi, pour descendre à $2^{mm},4$ pendant la nuit du 15 au 16.

Une variation analogue de la flèche peut être relevée dans les indications du 16 novembre, entre $10^h,45$ du matin et $1^h,15$ du soir.

Si l'on rapproche de ces variations celle de la température pendant les journées des 15 et 16 novembre 1897, on se rend facilement compte que les variations constatées tiennent à l'échauffement et au refroidissement successifs de la poutre. Sous l'influence directe des rayons solaires, la membrure supérieure de la poutre se dilate, sa courbure augmente, la membrure inférieure se relève, de telle sorte que l'indicateur doit signaler une diminution apparente de flèche. Au contraire, pendant la nuit, le refroidissement contracte la poutre, la membrure inférieure s'abaisse, et l'indicateur doit signaler une augmentation apparente de flèche.

Les variations de la flèche sont, dans le cas présent, peu importantes, bien que l'excursion de la colonne thermométrique placée à l'ombre ait atteint 10°. Néanmoins

ces variations démontrent la nécessité de compléter toujours par des relevés thermométriques la mesure des flèches correspondant à une surcharge que l'on ne peut établir que graduellement. Il convient même, quand on le peut, de mesurer directement les déformations du tablier sous l'influence de la température seule. Il est certain, d'ailleurs, qu'il sera toujours préférable d'opérer, soit par un temps couvert, soit tout au moins pendant la partie de la journée où la température varie peu, et dans tous les cas le plus rapidement possible. Mais, même dans ces deux cas, on ne peut avoir la certitude d'éliminer l'influence des variations de température qu'à la condition de les constater elles-mêmes, ce qui n'est pas toujours facile.

Les *fig.* 2 et 3 se rapportent aux épreuves par poids roulant, et donnent les indications de l'enregistreur au passage de trois rouleaux compresseurs pesant chacun 30^{T},500, d'abord le long de la poutre nord, du côté opposé à l'appareil, ensuite le long de la poutre sud. Il n'y a à noter que les fortes oscillations accusées au passage des rouleaux, le long de la poutre nord.

Les *fig.* 4 et 5 sont relatives au stationnement des trois mêmes rouleaux le long de la poutre nord, puis le long de la poutre sud. Les trois rouleaux ont été introduits successivement sur le tablier et placés de manière à donner la flèche maximum au point correspondant à l'enregistreur. Le diagramme permet de mesurer les flèches correspondant aux efforts produits par chacun des rouleaux.

La *fig.* 5 montre que l'introduction du second rouleau a donné lieu à une contre-flèche très sensible.

La comparaison des *fig.* 2 et 4, 3 et 5 permet de voir que les flèches statiques produites pendant les stationnements sont inférieures aux flèches dynamiques produites par le passage en vitesse. Le rapport des flèches est 0,60 pour le passage le long de la poutre nord, et 0,89 pour le passage le long de la poutre sud.

Les diagrammes des *fig.* 2, 3, 4 et 5 ont été obtenus au moyen d'un cylindre déroulant le papier avec une vitesse de 19 millimètres à la minute.

Les *fig.* 6 et 7 ont été obtenues au moyen du même cylindre enregistreur. La première se rapporte au passage le long de la poutre sud d'un rouleau compresseur pesant $30^{T},500$; la seconde, au passage le long de la même poutre, de deux rouleaux de même poids, marchant de front. Les oscillations produites au passage de ces deux charges sont nettement accusées dans les diagrammes 8 et 10, qui ont été obtenus au moyen d'un cylindre développant le papier avec une vitesse de 11 millimètres par seconde.

Ces diagrammes, ainsi que le diagramme 9, correspondant au passage d'un rouleau compresseur le long de la poutre nord, présentent des particularités curieuses. On y remarque très nettement l'existence de nœuds et de ventres. En certains points, la courbe a une allure régulière frappante, comparable à celle que l'on obtient en faisant tracer à deux diapasons le résultat de la composition de leurs vibrations.

Les diagrammes montrent encore que le mouvement vibratoire de la poutre s'est prolongé après la sortie des machines. Nous ne disposions, malheureusement, d'aucun appareil permettant d'enregistrer l'entrée et la sortie des rouleaux, de sorte qu'il ne nous est pas possible d'indiquer nettement l'origine de ce mouvement vibratoire consécutif à la sortie des machines. Mais nous avons relevé approximativement, au moyen d'une montre à secondes, la durée du passage des rouleaux, et cette durée, comparée à celle du mouvement enregistré sur les diagrammes, ne laisse aucun doute à cet égard.

Les oscillations ont atteint à certains moments des amplitudes très grandes comparables à la flèche totale elle-même. Ainsi, sur le diagramme 8, on relève des

oscillations de $2^{mm},25$, alors que la flèche totale est de $2^{mm},7$; sur le diagramme 9, des oscillations de $1^{mm},8$, alors que la flèche est de $1^{mm},3$. Ce dernier diagramme accuse même, à une certaine période, un peu avant la sortie de la machine, une contre-flèche très caractérisée. Par contre, sur le diagramme 10, l'amplitude maximum n'est que de $1^{mm},8$, alors que la flèche atteint $3^{mm},4$.

La période moyenne des vibrations n'est pas la même dans les diagrammes 8, 9 et 10, et elle augmente avec la charge supportée par la poutre, passant de $0^{s},40$ (diagramme 9) à $0^{s},45$ (diagramme 8) et à $0^{s},50$ (diagramme 10).

Il nous reste à parler maintenant des trois derniers diagrammes 11, 12 et 13, qui ont un caractère tout spécial, et qui montrent l'effet des chocs rythmés sur la poutre.

C'est, croyons-nous, M. l'Ingénieur Deslandres qui, le premier, a appelé l'attention des Ingénieurs sur l'action, souvent très énergique, que pouvaient exercer sur une poutre, dans certaines conditions, des chocs légers, mais bien rythmés (*Annales des Ponts et Chaussées*, livraison de décembre 1892).

A la suite d'études faites par lui, dans cet ordre d'idées, sur les travées métalliques des ponts de Pontoise et de Beaumont, il fit connaître qu'une poutre métallique, écartée de sa position d'équilibre, était susceptible de prendre un mouvement vibratoire de durée déterminée, dépendant uniquement de ses dimensions et de la charge totale par mètre courant, et que, lorsqu'une charge mobile en passant sur une travée, donnait lieu à des impulsions rythmées ayant la même période que le mouvement oscillatoire caractéristique de la travée, elle avait une tout autre action qu'une charge égale dont les impulsions ne seraient pas rythmées, ou bien auraient une période différente.

Les expériences faites par nous, au pont J.-F.-Lépine,

et qui sont traduites par les diagrammes 11, 12 et 13, confirment les résultats obtenus par M. Deslandres.

Aux ponts de Pontoise et de Beaumont, les vibrations avaient été obtenues au passage d'une ou plusieurs voitures légères, attelées d'un cheval. Le nombre des oscillations des travées étant d'un peu plus de trois par seconde, était en harmonie avec le rythme du trot d'un cheval, qui fait un peu moins de trois pas par seconde quand il est au petit trot, et un peu plus de trois pas quand son allure est plus rapide. Aussi certains des diagrammes produits par M. Deslandres accusent-ils des oscillations d'une grande amplitude.

Au pont J.-F.-Lépine, la période de vibration de la poutre est d'environ $0^s,4$. La poutre effectue donc deux oscillations et demie par seconde. Il était à prévoir, par conséquent, que le trot d'un cheval ne produirait pas de grandes oscillations. C'est ce que montre le diagramme 11 obtenu au passage d'une voiture pesant 1.300 kilogrammes et attelée de deux chevaux pesant chacun 800 kilogrammes ; les vibrations de la poutre ont été peu sensibles.

Pour obtenir des chocs d'un rythme concordant avec celui des vibrations de la poutre, nous avons eu l'idée de faire passer sur le pont des hommes au pas gymnastique. Ces hommes, au nombre de 16, étaient placés sur deux rangs. Leur poids total était de 1.133 kilogrammes, et l'effort qu'ils exerçaient sur la poutre était d'environ 730 kilogrammes. Cet effort est insignifiant comparativement à la charge de la poutre, qui est voisine de 390 tonnes.

Un premier passage nous a donné néanmoins des vibrations dont l'amplitude atteignait $1^{mm},2$. Ces vibrations ont tracé sur le cylindre enregistreur le diagramme 12.

M. Rubé, Conducteur principal des Ponts et Chaussées, que M. l'Ingénieur en Chef Rabut avait bien voulu mettre gracieusement à notre disposition pour nous seconder dans la conduite de son appareil, et qui a une très grande pra-

tique de ces expériences, nous exprima l'avis, aprè
pection de ce diagramme, que la cadence du pas av
être mal réglée et que, très certainement, un au
des seize hommes du peloton n'avait pas dû être ex
la marche au pas gymnastique. Effectivement un d
ouvriers nous déclara qu'il avait été dispensé du se
militaire et qu'il n'avait pas l'habitude de la marcl
pas cadencé. Cet ouvrier fut remplacé, séance ten
par un de ses camarades qui avait reçu l'instructio
taire, et un nouveau passage nous donna le diagramm

Ce diagramme 13 est des plus remarquables et car
rise de la façon la plus nette les effets que des chocs
més peuvent exercer sur une poutre métallique. La c
obtenue est aussi régulière que celle d'un diapason. I
plitude des oscillations présente un maximum qui co
pond très probablement au passage de la charge au
de l'enregistreur. Nous ne pouvons toutefois rien aff
de précis à cet égard, l'entrée et la sortie des ho
n'ayant pu être enregistrée mécaniquement. La pé
du mouvement vibratoire est des plus régulières,
qu'on peut s'en assurer par des mesures effectuées s
diagramme. Cette période est de $0^s,4$. L'amplitude n
mum a atteint $3^{mm},2$; elle est donc de même ordr
grandeur que la flèche maximum constatée au passag
long de la poutre, de deux rouleaux compresseurs
chant de front, laquelle est de $3^{mm},4$ (diagramme 10)

On remarquera toutefois, ici, que le diagramme n'ac
pas de flèche proprement dite, ce qui n'a d'ailleurs
de surprenant, l'effort causé sur la poutre étant n
geable par rapport à la charge permanente supporté
cette poutre.

La ligne d'équilibre, que nous avons tracée sur le
gramme, sépare la courbe en deux parties égales;
excursions de la poutre, de part et d'autre de sa pos
d'équilibre, ont donc été les mêmes.

Fig. 2. Convoi de 3 rouleaux compresseurs longeant la poutre Nord



Fig. 3. Convoi de 3 rouleaux compresseurs longeant la poutre Sud

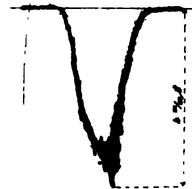


Fig. 6. Un rouleau compresseur longeant la poutre Sud

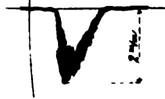
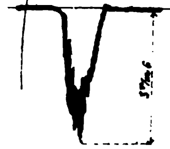


Fig. 7. Deux rouleaux compresseurs de front longeant la poutre Sud









ommes au pas gymnastique longeant la poutre Sud



0 0055 par heure

1 × 25

Echelles des fig 2, 3, 4, 5, 6 et 7 { temps —— 0,0095 p. minute; flèche 1 × 5

Nous avons dit plus haut que M. Deslandres avait été amené à reconnaître que, pour obtenir des oscillations de grande amplitude, il était nécessaire que la période des impulsions rythmées fût la même que celle du mouvement oscillatoire caractéristique de la travée. La période est, dans le cas présent, de $0^s,4$, ce qui correspond à 150 chocs par minute. La vitesse des hommes n'a pas été relevée, mais on sait que la cadence du pas gymnastique réglementaire est de 170 par minute; nos hommes n'auraient donc pas marché tout à fait à la vitesse normale.

Nous avons essayé de déterminer par le calcul la durée d'une oscillation de la poutre, et, à cet effet, nous avons successivement appliqué les formules données à ce sujet par Bresse et par MM. les Ingénieurs Deslandres et Souleyre.

Bresse, dans son *Traité de Mécanique appliquée* (*), a indiqué une formule qui fait connaître la flèche en fonction du temps. Cette formule peut être simplifiée, comme l'a montré M. Souleyre (*Annales des Ponts et Chaussées*, livraison d'octobre 1889), par la suppression de la considération des forces d'inertie et de rotation. Si l'on fait cette simplification, on trouve que la période du mouvement est donnée par la formule:

$$(1) \qquad T = \frac{2l^2}{\pi} \sqrt{\frac{p}{EIg}},$$

dans laquelle l est la longueur de la poutre, et p la valeur de la charge uniforme par mètre courant.

Au pont J.-F.-Lépine, la longueur de la poutre est de $42^m,15$; la charge uniforme par mètre courant, p, doit être prise égale à 10.340 kilogrammes, en raison de la surcharge de 400 kilogrammes, par mètre superficiel, qui recouvrait les trottoirs pendant les expériences; quant à

(*) T. I, 3e édition, p. 121. *Vibrations transversales d'une poutre uniformément chargée.*

E et à I, ils ont respectivement pour valeurs : $E = 20 \times 10^9$, et $I = 0{,}591736$. En substituant ces valeurs dans la formule (1), on trouve :

$$T = 0^s{,}34.$$

Dans la livraison des *Annales* de décembre 1892, M. Deslandres a donné pour déterminer T, la formule suivante :

$$T^2 = 6{,}5 \frac{a^4 \frac{p}{g}}{E\left(\alpha - \frac{ba^2}{7}\right)} \tag{2}$$

Dans cette formule, a est la demi-longueur de la poutre, p la charge par mètre courant. Quant à α et b, ce sont les coefficients de la formule : $I = \alpha - bx^2$, par laquelle on suppose que l'on peut représenter le moment d'inertie de la poutre en fonction de la distance au point milieu.

Pour appliquer cette formule (2) au cas du pont J.-F.-Lépine, il faut faire :

$$a = 21^m{,}075, \quad p = 10{,}340, \quad \alpha = 0{,}878 \quad \text{et} \quad b = \frac{0{,}860}{a^2}.$$

On trouve alors :

$$T = 0^s{,}30.$$

Enfin on peut déduire des idées émises par M. Souleyre, à la page 351 de son mémoire *Sur les actions dynamiques des charges roulantes*, inséré dans la livraison des *Annales* d'octobre 1889, que la période du mouvement vibratoire, dans le cas qui nous occupe, peut être représentée d'une façon suffisamment approchée par la formule :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{f}{g}}. \tag{3}$$

f étant la flèche prise par la poutre sous l'effet de son propre poids et des charges et surcharges uniformes. La flèche f était égale à 38 millimètres. L'application de la

formule de M. Souleyre donne :

$$T = 0^s,39.$$

Il est à remarquer que les trois formules appliquées supposent que les charges sont réparties uniformément sur la poutre, ce qui n'est pas le cas au pont J.-F.-Lépine où les surcharges très importantes produites par le tablier proprement dit sont transmises à la poutre seulement au droit des montants verticaux. Il est à remarquer encore que ces formules ne tiennent pas compte du mouvement vibratoire que prennent les entretoises sous l'influence des chocs. C'est ce qui explique, peut-être, les divergences qui existent entre les valeurs de T calculées par les formules (1) et (2) et le résultat de l'expérience. Par contre, la valeur de T donnée par la formule (3) concorde avec la valeur trouvée expérimentalement d'une façon remarquable.

Nous ne voulons tirer aucune conséquence des observations qui précèdent, parce qu'elles sont incomplètes et isolées. Nous les avons rapportées ici surtout à titre de curiosité, et aussi dans le but d'attirer l'attention des Ingénieurs sur un ordre de faits mal connus, croyons-nous, et qui, cependant, ne paraissent pas sans intérêt. L'étude analytique du mouvement vibratoire des poutres métalliques est à peu près inabordable. On pourrait peut-être déduire de la comparaison de diagrammes semblables à ceux que nous produisons, relevés sur un certain nombre d'ouvrages similaires, d'utiles indications sur ce mouvement vibratoire.

Poids et dépenses du tablier métallique.

On a vu plus haut (p. 137) que le poids d'acier laminé entrant dans la construction du tablier métallique du pont J.-F.-Lépine était de 407.586 kilogrammes.

La longueur moyenne du tablier étant de 43 mètres et sa largeur de $15^{m},50$, sa superficie est de $666^{m2},5$.

Le poids du tablier par mètre linéaire ressort ainsi à 9.500 kilogrammes en nombre rond, et son poids par mètre superficiel à 612 kilogrammes.

La dépense totale du tablier métallique, y compris les appareils d'appui et de butée et la grille en fer forgé qui limite la chaussée s'est élevée à 245.053 fr. 88. Cette dépense fait ressortir le prix au mètre linéaire à 5.700 fr. et le prix au mètre superficiel à 368 francs.

Le projet du pont J.-F.-Lépine a été dressé sous la direction de M. Boreux, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef du Service de la Voie publique de la ville de Paris, par M. Journet, alors Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées, et chargé de la VIIe Section du Service Municipal de la ville de Paris.

Les études définitives ont été poursuivies et les travaux conduits sous la direction de M. l'Ingénieur en Chef Boreux par l'auteur de ce mémoire, assisté de M. Thomas, Conducteur du Service municipal, pour la partie métallique, et de M. Brunet, Conducteur des Ponts et Chaussées, attaché au Service municipal pour les maçonneries et les travaux de viabilité. Ces deux Conducteurs ont été pour nous de précieux collaborateurs, et nous tenons à les remercier ici du concours intelligent et dévoué qu'ils nous ont apporté.

Les entrepreneurs du tablier métallique ont été MM. Nouguier et Kessler (ancienne maison Joly, à Argenteuil).

Les maçonneries ont été exécutées par M. Manard, entrepreneur à Paris.

Paris, le 7 décembre 1898.

N° 10

NOTES (*)

SUR LA

CONSTRUCTION DU PONT ALEXANDRE III

Par MM. RÉSAL, Ingénieur en chef,
Et ALBY, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

TROISIÈME PARTIE (*suite*).

TRAVAUX MÉTALLIQUES.

VII. — Préparation aux usines des arcs en acier moulé.

Les cinq établissements métallurgiques désignés par le Cahier des Charges comme fournisseurs d'aciers moulés ont tous participé à l'usinage des arcs; la fourniture a été répartie entre eux de la manière suivante, les arcs étant désignés par la série des lettres de l'alphabet de A à O en allant de l'amont à l'aval :

Forges de Châtillon et Commentry.........	4 arcs A.H.L.O.
Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer (Saint-Chamond).............	4 arcs B.F.J.N.
Forges et Aciéries du Creusot..............	3 arcs C.G.M.
Forges et Aciéries de Saint-Étienne........	2 arcs D.I.
Aciéries et Forges de Firminy..............	2 arcs E.K.

La première opération qu'il a fallu envisager et qui a

(*) Voir la quatrième note, 4e *trimestre* 1898, p. 59.

présenté un caractère tout spécial de nécessité en raison de la diversité des usines appelées à concourir à la fourniture du métal, a été l'étude du tracé pratique des arcs.

Il est apparu dès le début que le moyen le plus simple de réduire au minimum les frais que devaient entraîner les opérations de recette et de vérification des voussoirs consistait à établir dans chaque usine une épure grandeur d'exécution, dite épure de recette, sur laquelle les demi-arcs seraient successivement présentés. Ces épures, tracées sur des plateformes assez résistantes pour supporter le poids des voussoirs, ont été placées dans quatre usines sous des halles ou des hangars desservis par des ponts roulants : cette disposition, qui était évidemment la meilleure, n'a pu être réalisée dans la cinquième usine, faute d'emplacement couvert d'assez grande longueur disponible.

Tracé définitif de l'arc. — Le tracé théorique de l'arc a été défini par les ordonnées de la courbe moyenne des pressions et par le choix d'un arc de cercle pour la courbe d'intrados ; l'extrados n'a été déterminé que par la position d'un certain nombre de points situés non sur les lignes de joints, mais sur les verticales des arcs des montants verticaux. Ces indications n'étaient pas suffisantes pour permettre le tracé matériel des voussoirs ; il a fallu tout d'abord établir une définition géométrique des courbes d'extrados. Après quelques tâtonnements, l'extrados a été défini pour les arcs de rive par deux arcs de cercle de 185 et 230 mètres de rayon, en chiffres ronds, réunis par une courbe de raccordement à rayon variable ; vers la clé l'arc de cercle est remplacé sur une faible longueur par sa tangente. Les rayons de courbure vont en croissant des naissances vers la clé, et l'élément droit est très court ; les rayons de courbure étant tous très grands, le passage de l'un à l'autre est insensible à l'œil et ne

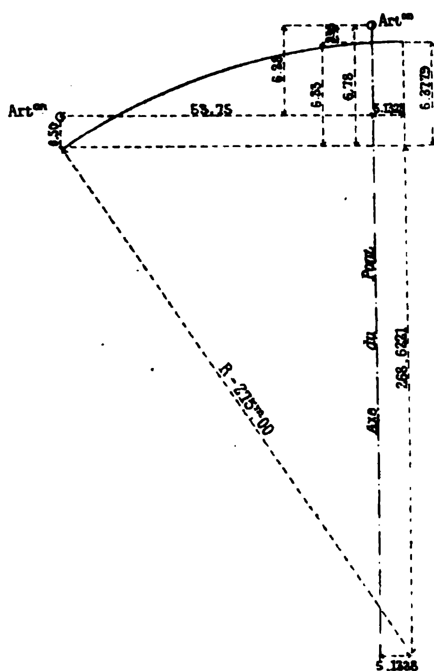


FIG. 1. — Tracé de la ligne de l'intrados.

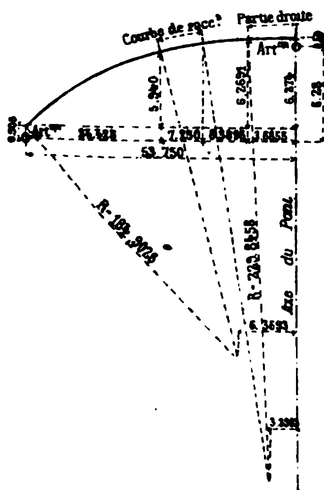


FIG. 2. — Tracé de l'extrados de l'arc de rive.

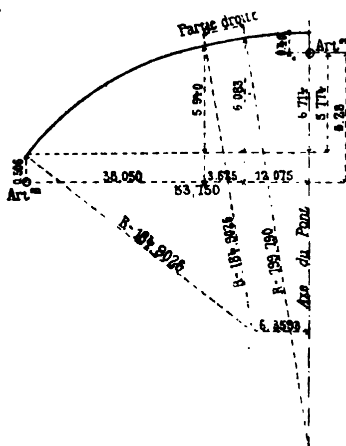


FIG. 3. — Tracé de la ligne de l'extrados.

produit pas l'illusion d'une cassure aux points de raccordement.

Le tracé de l'extrados des arcs intermédiaires se compose de deux arcs de cercle séparés par un élément droit faisant un léger angle avec chacun d'eux. La seule partie vue de cet extrados étant comprise dans le développement du premier arc de cercle, près des naissances (partie du tracé qui est d'ailleurs commune avec celui de l'arc de rive), le double jarret que nous venons de signaler ne présente aucun inconvénient pour l'œil.

La courbe d'extrados de chacun des arcs se trouvant déterminée comme celle d'intrados par un tracé géométrique rigoureusement défini, il est devenu possible d'obtenir, par un calcul exact, les ordonnées des points de la division des montants, celles des extrémités des joints sur l'extrados (*), les valeurs des tangentes trigonométriques dinclinaison aux extrémités des voussoirs sur l'extrados.

On est passé de ces chiffres aux éléments du tracé réel en relevant les ordonnées pour tenir compte de la cambrure proportionnellement aux abscisses depuis 0 aux naissances jusqu'à 0,26 à la clé et en augmentant les valeurs des tangentes d'une quantité constante égale au rapport de la cambrure à la demi-ouverture de l'arc $\frac{0{,}26}{53{,}75}$.

Pour achever la détermination des voussoirs, il restait à fixer la direction des joints, les ordonnées des extrémités des joints sur l'intrados, les valeurs des tangentes aux extrémités des voussoirs sur l'intrados; il convenait, en outre, de tracer sur l'épure une ligne de construction pour le repérage des voussoirs, les lignes d'arête des voussoirs à l'extrados et à l'intrados ne pouvant servir

(*) Nous rappelons que les abscisses des points de la division théorique des joints sur l'extrados diffèrent de 0,60 des abscisses des points de la division des montants.

commodément à cet objet à cause du travail que ces arêtes étaient appelées à recevoir.

Cette ligne de construction, dont le choix se trouvait évidemment arbitraire, a été tracée de manière à présenter les plus grandes commodités au point de vue de la pratique. On a choisi un arc de cercle passant par les centres des articulations après le relèvement dû à la cambrure. On s'est, en outre, imposé de donner à cet arc au milieu une flèche très peu différente de celle de la courbe moyenne des pressions ; il en est résulté que l'écart entre la direction des normales à cette courbe et celle des rayons du cercle a pu être négligé en pratique. Les joints ont donc été dirigés suivant les rayons du cercle de la courbe moyenne de construction.

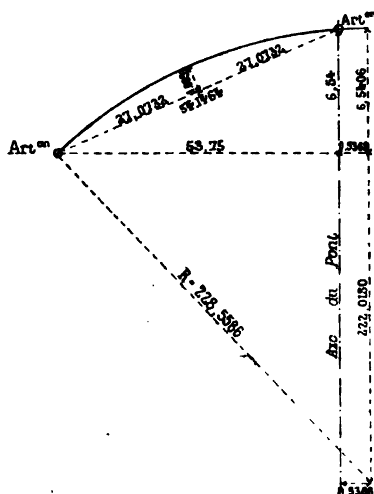


Fig. 4. — Ligne moyenne de construction.

On a pu définir d'une manière complète chaque voussoir et déterminer par des calculs simples les ordonnées des points de rencontre des lignes de joint avec la courbe moyenne, la longueur et l'inclinaison des cordes intercep-

tées sur cette ligne, les angles de l'extrados avec les lignes de joint.

Pour calculer les ordonnées des points de rencontre de l'intrados avec les lignes de joint et les angles de cette courbe avec les joints, on a, dans un but de simplification, substitué à l'intrados la droite tangente à cette courbe sur la verticale des points de joint de l'extrados.

De la connaissance des ordonnées des points de rencontre des lignes de joint avec les trois courbes d'extrados, d'intrados et moyenne, on a déduit la longueur des segments de joint compris entre ces courbes, et il a été possible, dès lors, en rapportant le tracé de la courbe moyenne à la corde du demi-arc, d'établir une épure exacte sans recourir au tracé de la corde de l'arc.

Les ateliers ont, dès le début, insisté pour obtenir une épure de cette nature, la surface nécessaire pour le tracé de la corde de l'arc étant considérable et la longueur des ordonnées à élever sur cette courbe nuisant beaucoup à la précision.

Disposition matérielle des épures de recette. — Après l'achèvement des calculs, l'épure de recette a été adressée aux cinq usines, avec un double mètre-étalon fourni par les ateliers de Chalon-sur-Saône, responsables du montage; chacune des usines s'est mise en demeure de réaliser l'épure selon ses moyens.

A Firminy et à Saint-Chamond, une aire en béton revêtue de tôle a été spécialement construite sur toute la longueur du demi-arc. Les tracés ont été faits sur ces tôles.

Au Creusot, on a établi une plateforme générale en grosse charpente rigoureusement horizontale; des plaques de tôle ont été disposées sur ces charpentes au droit des joints pour le tracé de ces lignes et des verticales des montants; en outre, quatre cours de fers à U ont été



MONTAGE A PLAT DES ARCS
AUX ATELIERS DE LA VILLE-GOZET.

disposés suivant la direction des lignes d'intrados, d'extrados, de la courbe moyenne et de sa corde ; les tracés se trouvaient ainsi tout entiers sur des éléments métalliques.

Aux ateliers de la Ville-Gozet de la Compagnie de Châtillon et Commentry, on a préféré à une épure continue une série de tracés isolés sur des marbres (*) placés au droit des joints. Cette disposition donnait des facilités particulières pour accéder au-dessous des voussoirs pendant l'ajustage, et elle était spécialement justifiée pour la construction des arcs de rive, dont tous les assemblages ne se trouvent accessibles que par dessous. Cette usine a même jugé avantageux de faire l'épure en double et de constituer deux chantiers. « Chacun des deux chantiers préparés « pour monter simultanément deux demi-arcs de même « rang est formé de dix-sept marbres isolés, rabotés et « fixés solidement sur des massifs de béton leur assurant « une stabilité suffisante.

« En vue des dénivellements possibles pendant les dix « mois prévus pour la durée des montages successifs on « prend la précaution d'asseoir et de boulonner chaque « marbre sur deux rails rabotés fortement ancrés dans « les massifs de béton. On pouvait ainsi à tout moment et « très facilement niveler les surfaces des marbres en « interposant, entre ces derniers et la surface rabotée des « rails, des feuilles de tôle mince.

« Avant de tracer l'épure, on prépara seize jauges étalonnées, c'est-à-dire autant qu'il existe de divisions sur « la corde. On traça ensuite à l'aide d'un fil d'acier très « souple fortement tendu par ses extrémités, les traces « de la corde sur chacun des marbres et au moyen des « jauges mises bout à bout on put reproduire en grandeur « les divisions de la corde. »

M. Moulle, directeur des ateliers de la Ville-Gozet, à

(*) On appelle ainsi des tables métalliques massives dont la face supérieure a été rigoureusement dressée selon un plan.

qui ces lignes sont empruntées, explique ensuite d'une manière détaillée le tracé de l'épure en partant des points de rencontre des lignes de joint de la ligne moyenne à l'aide de gabarits sur lesquels nous reviendrons à propos du traçage des voussoirs.

A l'usine du Marais, à Saint-Étienne, en raison des tassements incessants du sol, on ne pouvait songer à conserver pendant plusieurs mois une aire en béton continue; les dispositions de l'épure fragmentée qui a été construite sont analogues à celles qui viennent d'être décrites pour les ateliers de la Ville-Gozet, mais avec moins de précautions pour les marbres; seulement l'épure a dû être tracée deux fois, les déformations qu'elle avait subies entre le montage de chacun des deux arcs fournis par l'usine ayant été trop importantes.

Pour compléter la série des mesures préparatoires, il convient d'indiquer que chaque voussoir a fait l'objet d'un dessin d'exécution spécial où tous les renseignements nécessaires à sa fabrication ont été réunis.

D'ailleurs, l'épure de recette a été vérifiée dans chaque usine avant le commencement des opérations de fabrication par un agent du service, qui s'est déplacé spécialement à cet effet et dont les opérations ont fait l'objet de procès-verbaux.

Ces mesures de précautions minutieuses, prises en vue de diminuer les chances d'erreur, étaient nécessaires dans un ouvrage de cette nature; ce point appelle quelques remarques.

En matière de charpente en acier laminé, les chances d'erreur sont assez faibles, parce que des vérifications nombreuses sont faites en cours de travail au fur et à mesure de l'ajustage des pièces; il est pour ainsi dire impossible qu'une pièce mal tracée arrive à parfait achèvement sans que l'erreur ait été reconnue; l'erreur sera presque toujours vue à l'ajustage avant le rivetage.

Les erreurs sont d'ailleurs de peu de conséquence, parce qu'elles peuvent être aisément réparées ; on trouve généralement, en effet, dans les matières approvisionnées, ce qu'il faut pour remplacer les pièces mauvaises et la durée du travail de traçage, de cisaillage, de perçage, est très courte, comparée à celle du remplacement d'une pièce de moulage. On ne se préoccupe donc pas, et avec raison, du fonctionnement des ateliers de traçage, dans les charpentes rivées.

La durée de la préparation d'un voussoir, à partir du jour où le modèle en bois en a été exécuté est au minimum d'environ deux mois.

Ces opérations sont indiquées dans le tableau suivant dont les chiffres ont été empruntés aux renseignements recueillis près des usines de Saint-Jacques et des ateliers de la Ville-Gozet. Ces chiffres concordent assez bien avec ceux provenant des usines de Firminy et de Saint-Étienne ; ils sont notablement inférieurs à ceux de l'usine de Saint-Chamond.

PREMIÈRE PARTIE Opérations de fonderie	NOMBRE de journées	DEUXIÈME PARTIE Usinage	NOMBRE de journées
Moulage	7	Traçage d'un voussoir, y compris la manutention, le nettoyage et le blanchiment des surfaces	1
Etuvage des moules	3 } 11	Rabotage des joints	2
Remoulage après étuvage	1	Ajustage et retouche (à la lime et au marbre)	3
Coulée	1	Rabotage des portées	2
Refroidissement dans le sable	3 } 4	Perçage des trous des faces de joints	2
Démoulage et nettoyage des pièces au burin	2	Présentation sur épure, vérification, assemblage provisoire	1
Recuit	6	Alésage des trous, affleurage des joints	5
Abatage des masselottes	1	Opérations de recette	1
Décapage, enlèvement des nervures	6	Peinture et expédition	1
Gabariage (pour les arcs de rive)	1		
Opérations de recette sur la nature du métal	4		
	35		18
Ensemble..... 53 journées			

A ce nombre de journées minimum, il convient d'ajouter les jours d'interruption dus aux fêtes et dimanches, aux réparations d'outillage qui se présentent nécessairement dans une aussi longue série d'opérations, soit au moins sept journées; on arrive ainsi à un chiffre de journées minimum de soixante.

Si donc il arrivait qu'une pièce fût reconnue défectueuse sur chantier par un défaut de tracé, par exemple, le montage de l'arc auquel elle appartiendrait devrait subir un retard de deux mois; il ne serait pas possible de raccourcir ce délai en empruntant un voussoir de même rang à un arc voisin, parce que deux arcs consécutifs ne sortent jamais de la même usine; la seule chance qui existerait d'y réussir serait de trouver fortuitement, dans la même usine, un voussoir de même rang à destination d'un arc différent.

D'autre part, les chances d'erreur sont plus nombreuses pour des pièces moulées que pour des charpentes rivées, à cause de la disposition même des ateliers.

Dans les chantiers de constructions de charpentes, toutes les opérations sont faites à proximité de l'atelier de traçage, tandis que la fonderie et l'usinage des voussoirs se font, en général, dans des ateliers distincts relevant de chefs de service indépendants; ces ateliers sont souvent fort éloignés l'un de l'autre.

Les pièces destinées à être ajustées sur les arcs sont usinées dans des régions différentes de celles où se trouve la fabrication des arcs.

Toutes ces circonstances font qu'à défaut de précautions toutes spéciales une erreur d'interprétation pourrait passer longtemps inaperçue et n'être finalement découverte qu'à la présentation de l'arc sur épure ou sur le chantier, c'est-à-dire à l'achèvement de tout le cycle des opérations de fabrication.

D'une part, l'augmentation des chances d'erreur, et les

longs retards que leur réparation entraînerait, d'autre part la nécessité impérieuse de terminer l'ouvrage avant une date inéluctable rendaient ces mesures de précautions indispensables ; c'est ce qui explique l'attention spéciale qui a été portée sur ce point.

Opérations de fonderie. — Les modèles des voussoirs ont été faits pour un demi-arc intermédiaire dans chacune des usines chargées de fondre ces arcs et pour un arc de rive entier à l'usine Saint-Jacques (Compagnie de Châtillon et Commentry) chargée des arcs de rive ; en raison de la symétrie, les modèles d'un demi-arc intermédiaire ont pu servir pour les autres demi-arcs. Les très légères différences de forme existant sur l'extrados des deux arcs n'ont pas nécessité la confection de modèles spéciaux, l'addition de quelques baguettes taillées spécialement suffisant pour passer d'une forme à l'autre.

Les modèles ont été faits conformes aux pièces en tenant compte du retrait évalué à 18 millimètres par mètre. Dans certaines usines, on a aussi tenu compte de la légère déformation que les semelles pouvaient être appelées à subir au retrait par suite de la contraction de l'âme, en donnant à ces semelles une légère contre-flèche destinée à disparaître au refroidissement.

Le cube de bois employé pour la confection des modèles s'est élevé à l'usine Saint-Jacques, d'après M. Laurent, chef du service des moulages d'aciers, à 20 mètres cubes pour un demi-arc intermédiaire, et à 50 mètres pour un arc de rive.

Moulage. — Le moulage a été fait dans les différentes usines dans des conditions qui se ressemblent beaucoup. Les voussoirs ont été placés à plat parallèlement aux châssis. Les moules sont en trois parties : une partie inférieure, une partie intermédiaire ou chape qui embrasse le

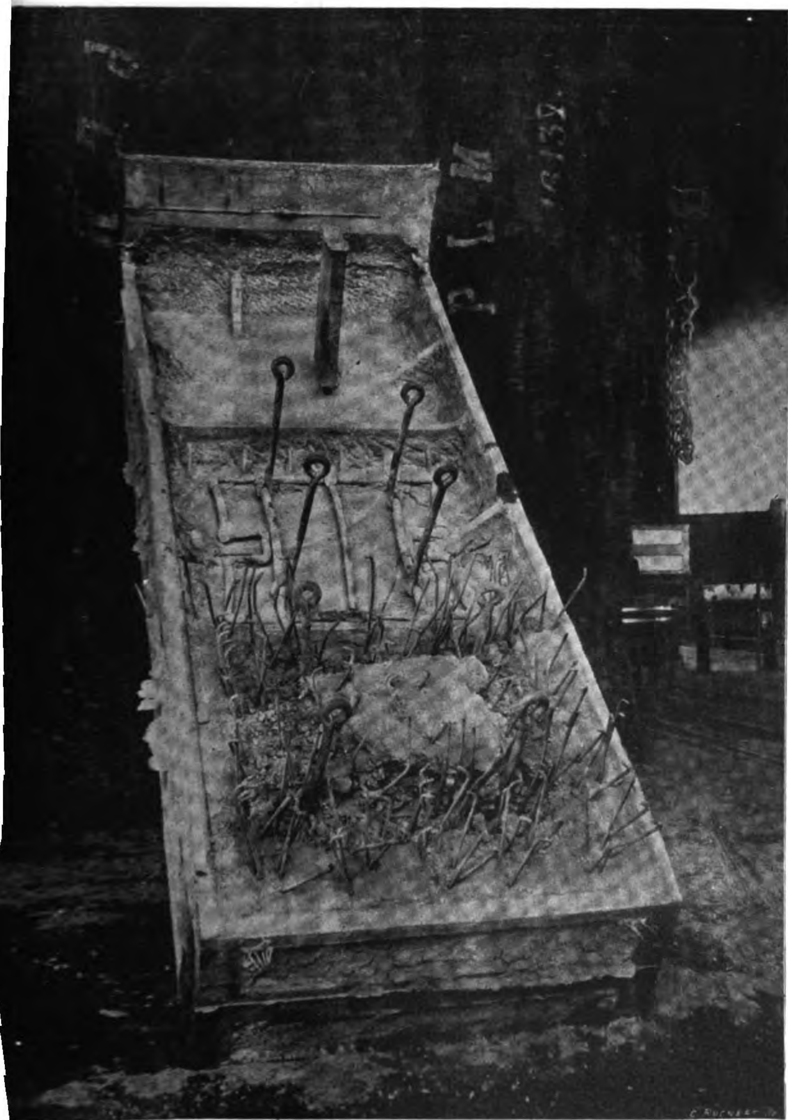
contour extérieur des voussoirs, une partie supérieure à laquelle sont suspendus les noyaux supérieurs. La chape est quelquefois en deux parties pour faciliter le retrait du modèle, ces deux parties sont reliées d'une mani inséparable entre elles, et même, dans certaines us à la partie inférieure, une fois le modèle retiré.

Les noyaux sont constitués de manière à ne pas ser de résistance au retrait ; ils sont formés d'une c en sable enveloppant une masse de coke à la fois com sible et perméable aux gaz. L'armature de ces noyau tantôt formée par des cadres en fonte ou par de gros ronds, comme à Firminy et à Saint-Étienne, tantô des treillages légers en fils de fer, comme à Saint- mond et au Creusot.

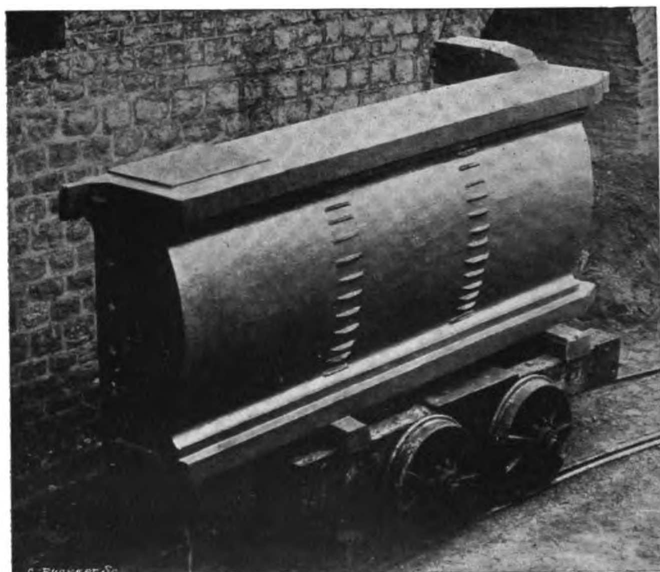
Dans certaines usines, les parties du moule en tact avec le métal ont été faites sur 25 ou 30 millim d'épaisseur au moyen de débris de creusets pulvé (Firminy, Saint-Étienne et Saint-Jacques).

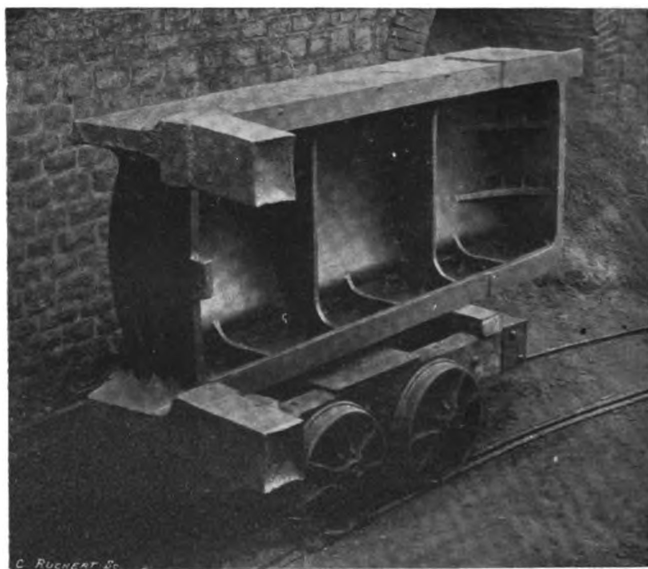
Partout on a pris soin de garnir de petites nervure angles de l'âme avec les cloisons et les semelle nombre et l'importance de ces nervures a varié d' l'expérience acquise par la première pièce ; d'une ma générale, on avait finalement donné la préférence système de nervures peu nombreuses et un peu épa les nervures trop minces ne venant pas toujours coulée.

« Les moules une fois terminés sont passés à l'
« où ils séjournent trente-six heures à une tempér
« de 250 à 300°. A la sortie de l'étuve, ils sont rag
« les fissures produites par le retrait du sable sont
« chées. On passe un enduit liquide composé d'a
« réfractaire et de graphite sur toute la surfac
« moule et on flambe pour sécher. » On opère le re lage, on consolide les parties du moule au mo d'agrafes solides. Le moule est alors prêt pour la cou



VOUSSOIR FONDU A FIRMINY.





VOUSSOIR DE L'ARC DE RIVE
FONDU A MONTLUÇON (USINE SAINT-JACQUES).

Toutes les usines ont monté les arcs à plat; pour les arcs de rive, l'âme bombée a été placée en dessous.

« Comme la face extérieure destinée à recevoir les « appliques et ornementations est celle qui sera bien en « vue et qui doit par conséquent être très propre, nous « l'avons coulée en dessous. Cette obligation de couler la « face extérieure en dessous a compliqué de beaucoup « le montage. Les gros noyaux formant les évidements « entre les nervures ont dû être suspendus aux châssis « de dessus, sans aucun support en dessous; dans les « manœuvres de séchage et de remoulage, il y avait à « craindre le bris de ces noyaux fabriqués au minimum « de résistance. »

Dispositions en vue de la coulée. — Les dispositions en vue de la coulée ont été assez différentes d'une usine à l'autre. Toutes ont coulé le voussoir incliné; mais l'inclinaison, la disposition des masselottes ont varié beaucoup. L'usine Saint-Jacques a coulé les voussoirs sous une inclinaison de 10 centimètres par mètre avec deux masselottes placées à la partie supérieure de la pièce au-dessus des angles de la face de joint et des semelles. Ces masselottes, du poids d'environ 600 kilogrammes chacune, représentent environ 25 à 30 0/0 du poids de la pièce (Voir Pl. 6).

Au Creusot, l'inclinaison du moule est de 0,175 par mètre; les masselottes sont multipliées; il y en a huit disposées en dessus de chacun des quatre angles de la pièce et au droit des grandes nervures; les voussoirs les plus hauts en ont, en outre, deux au droit du milieu de la table de joint. La proportion des masselottes est de 30 à 35 0/0 du poids de la pièce.

A Saint-Étienne, la pente est de 10 0/0; à Firminy, de 43 0/0; à Saint-Chamond, de 173 0/0 (angle de 60°). Dans ces trois usines la masselotte est unique. A Saint-Étienne, elle a 0,80 de longueur, 0,80 de hauteur et 0,23 d'épais-

seur; elle pèse environ de 1.100 à 1.200 kilogrammes; elle fournit les éprouvettes. A Firminy et à Saint-Chamond, la masselotte est à peu près du même poids, mais elle occupe toute la largeur du voussoir et ne sert pas au prélèvement des éprouvettes.

La coulée s'est faite, à Saint-Jacques, au Creusot et à Firminy, au moyen d'un fer à cheval répartissant le jet entre les deux semelles et par les orifices des masselottes supérieures. A Saint-Chamond, la coulée a été faite d'une manière particulière : un canal latéral alimentait par une série de branchements les diverses parties du moule. Des vues photographiques ont été prises sur les voussoirs sortant du moule, montrant les divers systèmes employés.

Il convient d'indiquer que, pour les voussoirs d'articulation qui comportaient tous des parties à forte épaisseur dans les semelles, les dispositions ont été légèrement différentes; la place des masselottes en dessus des tourillons se trouvait naturellement indiquée dans ces cas particuliers.

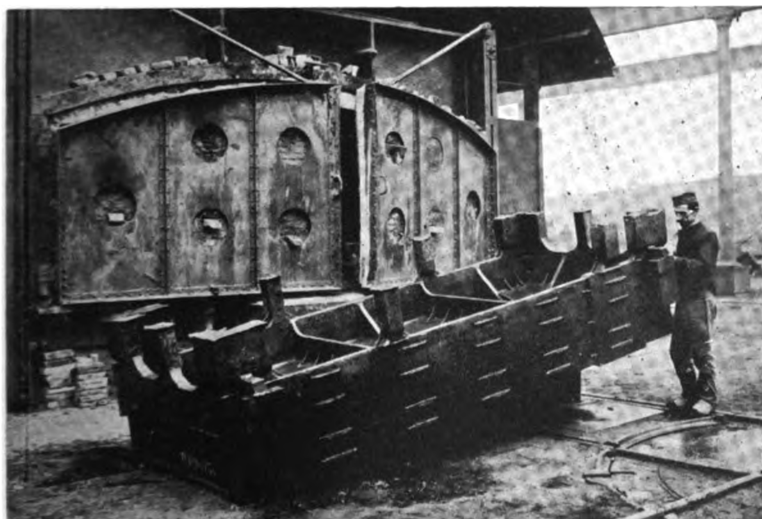
Coulée. — La coulée d'un voussoir, d'après les données de Saint-Chamond et de Saint-Étienne, dure environ quatre minutes : le jet, d'abord rapide, est ralenti lorsqu'on arrive aux masselottes pour permettre le retassement de l'acier et l'échappement des gaz et réduire le retrait.

Lorsque la pièce est coulée et qu'elle se refroidit, elle est exposée à deux sortes de dangers :

Si la pièce est gênée dans son retrait, si par exemple les cloisons ne suivent pas le mouvement de contraction de l'âme, des criques peuvent se produire aux joints; le métal solide des cloisons risquant de se séparer du métal encore pâteux des joints, il peut être utile de mettre, dès la coulée faite, la pièce un peu à l'aise dans son moule, soit en dégageant les masselottes, soit même en enlevant les agrafes du moule.



VOUSSOIR FABRIQUÉ A SAINT-CHAMOND.



VOUSSOIR FABRIQUÉ AU CREUSOT.

« Le moule, une fois rempli jusqu'en haut des masse-
« lottes, est abandonné pendant un quart d'heure environ
« pour permettre la solidification. Ensuite, pour combattre
« les mauvais effets du retrait, on dégage à la hâte le
« devant des masselottes, on enlève le châssis du dessus,
« on soulève la chape; la pièce a alors une certaine
« liberté pour opérer son retrait. »

On laisse refroidir dans son sable pendant quarante-huit heures, puis on dégage et on laisse refroidir dans un lieu couvert. Ainsi s'exprime M. Laurent, de l'usine Saint-Jacques.

Au Creusot, on est allé plus loin encore : on a démonté la chape, mis à nu et fait couler le sable jusqu'à atteindre la pièce encore rouge.

Mais ce procédé a divers inconvénients : le refroidissement inégal des surfaces détermine la formation de tensions très considérables et peut engendrer des tapures.

L'usine du Creusot a été obligée de prendre des dispositions particulières pour éviter les tapures.

« Le lendemain de la coulée, les voussoirs sont gros-
« sièrement désablés; ils sont encore très chauds. Dans
« cet état ils sont mis au four à recuire où ils subissent
« un premier recuit à 800° avec refroidissement lent. Ce
« recuit a pour but de détruire les tensions produites par
« le retrait et d'éviter les tapures. »

« Cette précaution, qui n'est pas générale pour tous
« les moulages d'aciers, nous a été suggérée par l'im-
« portance de ces pièces et par leur forme. Les ailes de
« ces voussoirs se désablent entièrement lors du démou-
« lage au rouge, alors que les noyaux restent adhérents
« à la toile centrale; on comprend que des tensions
« peuvent se produire et engendrer des tapures sous
« l'action du refroidissement inégal de toutes les par-
« ties. »

La tapure était moins à redouter avec le simple desserrage opéré à l'usine Saint-Jacques ; mais on n'y a pas évité le second inconvénient du dégagement rapide de la pièce, qui était une nécessité dans les voussoirs des arcs de rive plus exposés aux criques que les autres.

« Aucun voussoir, à part les pièces de retombée et de « clé, ne sort bien gabarié de son moule. La nécessité « dans laquelle on est de dégager rapidement la pièce « après la coulée pour parer au retrait fait que cette « pièce rendue libre sur certaines parties tend à se « gauchir en se refroidissant. Presque tous les voussoirs « ont donc du être redressés à la presse au moyen de « tasseaux spéciaux. Le gabariage opéré, le voussoir est « enveloppé dans du fraisil pour le refroidissement lent. »

Au Creusot, on a dû également se préoccuper de redresser les pièces ; mais, en raison de la simplicité des formes des voussoirs des arcs intermédiaires, on a pu y procéder tout simplement dans le four à recuire en produisant au moyen de tasseaux disposés convenablement et par le simple jeu de la dilatation des efforts comparables à ceux développés dans les presses à forger.

Les usines de Saint-Chamond, Firminy et Saint-Étienne ont paru moins préoccupées d'éviter les effets du retrait dans le moule que ceux du refroidissement inégal ou brusque des pièces ; elles se sont abstenues, au moins pendant vingt-quatre heures à Saint-Chamond et à Saint-Étienne, pendant plusieurs jours à Firminy, de toucher aux moules. L'usine de Firminy, qui emploie une nuance d'acier plus dure et, par suite, plus sujette aux tapures, a nettement expliqué son procédé.

« On a soin de ralentir le jet de la coulée lorsque les « deux tiers de la pièce sont coulés, et cela pour diminuer « le retrait et éviter les retassures. On laisse refroidir « lentement la pièce dans son moule pendant quatre ou « cinq jours, puis on la démoule.

« Le refroidissement lent dans le moule a pour but « d'éviter la formation de tensions moléculaires trop « fortes que produit toujours un refroidissement rapide « et inégal et qui peuvent provoquer la rupture des « pièces » (tapure).

Recuit. — Le but que l'on poursuit dans le recuit des pièces de moulage est double : le recuit doit détruire les actions moléculaires latentes de fabrication dues à ce que, pendant le moulage, le refroidissement des contours de la pièce en contact avec les parois du moule a été beaucoup plus rapide que celles du noyau intérieur. Il doit également faire disparaître la cristallisation qui a pu se produire dans le refroidissement à l'intérieur du métal.

Pour atteindre ce double but, il convient d'abord que le métal soit porté et maintenu un certain temps à une température assez élevée, afin que le ciment carburé soit *liquéfié* dans toute la masse et puisse pénétrer dans tous les vides ou joints des cellules composées qu'il doit relier ; il convient, en outre, que, pendant son refroidissement, toutes les parties du métal restent bien à la même température, de telle sorte que les tensions ne se reproduisent plus après qu'elles ont disparu pendant que le ciment était fluide.

C'est bien ce qui a été pratiqué partout. Nous observons seulement que, dans deux usines, celles du Creusot et de Firminy, sans doute dans le but de prévenir une nouvelle cristallisation et d'augmenter la finesse du grain, on a fait subir une sorte de trempe partielle au métal en faisant baisser brusquement la température de façon à revenir de la température de 1.000° à celle de 600° environ pour terminer le recuit dans les mêmes conditions que dans les autres usines.

La durée du recuit n'a pas été la même partout.

A l'usine Saint-Jacques, la durée du chauffage est de

trente heures; la température obtenue de 950 à 1.000°; elle est maintenue six heures environ; on laisse refroidir entièrement pendant soixante-douze heures. Total de l'opération, cent huit heures.

A Saint-Chamond, on atteint en vingt-huit heures la température de 1.000 à 1.050°, et on la maintient quatre heures; on laisse alors refroidir après avoir bouché les fours hermétiquement pendant douze heures; la température est tombée à ce moment à 600° environ: on ouvre la partie supérieure du four pour accélérer un peu la fin du refroidissement et, douze heures après, on ouvre en grand pour sortir la pièce. La durée de l'opération est ainsi de cinquante-six heures.

A Saint-Étienne, on atteint en trente-six heures la température de 1.000 à 1.100°; on la maintient six heures; on éteint les grilles, et on laisse refroidir en trente ou trente-six heures. La durée de l'opération est de soixante-douze à quatre-vingts heures.

A Firminy, la température atteinte n'est que de 900°, on y arrive graduellement en chauffant pendant trente-cinq à quarante heures; puis on cesse de chauffer et on fait tomber brusquement la température à 600°, en ouvrant les portes du four. Lorsque cette température est atteinte, on referme hermétiquement les portes et on laisse refroidir pendant quarante-cinq heures. L'opération totale est de quatre-vingts à quatre-vingt-cinq heures.

Au Creusot, l'opération est plus courte: on chauffe douze heures pour atteindre la température de 1.000°, on la maintient deux heures, puis on fait tomber la température à 700°, et on ferme hermétiquement pour laisser refroidir; la durée du refroidissement est de douze à quatorze heures. L'opération n'est ainsi que de vingt-six à vingt-huit heures au total. Mais il convient de remarquer que les aciers du Creusot ont déjà subi un premier recuit après la coulée et que les tensions intérieures ont déjà

été presque complètement détruites par la première opération. Le deuxième recuit a pour but de parfaire la première opération et de donner une finesse convenable de grain.

Aussitôt après la sortie du four à recuire, les voussoirs sont débarrassés de l'oxyde bleu, qui se forme toujours en grande quantité pendant le recuit par un décapage au marteau. Le marteau dont on se sert est un marteau semblable au marteau de rhabillage de meules.

On détache les appendices et masselottes après poinçonnage, et on achève l'ébarbage par l'enlèvement au burin des nervures secondaires.

C'est pendant l'opération de nettoyage de surface que se font les essais sur la qualité du métal.

Essais sur la qualité du métal. — La nature des essais de recette a été indiquée précédemment; nous n'avons plus qu'à en présenter les résultats. L'essai à la traction a porté sur trois éprouvettes tournées, celui de choc sur trois barreaux par voussoir. Nous ajouterons que l'essai de choc, prévu par le cahier des charges, a été complété de la manière suivante : le métal étant réputé bon lorsque les barrettes ont subi sans se rompre onze coups de mouton, le renseignement obtenu sur la fragilité du métal est incomplet; il a été prescrit aux contrôleurs de poursuivre sur un certain nombre de barreaux l'essai au-delà du onzième coup jusqu'à rupture, et, au cas où la rupture ne se produirait pas lorsque l'appareil est amené en haut de sa course, de rompre les éprouvettes à la presse en notant l'angle de rupture. Ces renseignements permettent de se faire une idée de la fragilité relative des produits.

Les résultats des essais ont été groupés par demi-arc et on en a fait la moyenne pour chaque demi-arc; le tableau suivant donne les chiffres obtenus, les résultats étant groupés par provenance.

TABLEAU RÉSUMÉ DES ESSAIS DU MÉTAL DES VOUSSOIRS.

DÉSIGNATION DU DEMI-ARC	ESSAIS À LA TRACTION — VOUSSOIR LE PLUS DUR			ESSAIS À LA TRACTION — VOUSSOIR LE PLUS DOUX			ESSAIS À LA TRACTION — MOYENNE DU $\frac{1}{2}$ ARC			ESSAIS AU CHOC				Angle à la rupture	OBSERVATIONS
	Limite d'élasticité	Résistance à la rupture	Allongement p. 100	Limite d'élasticité	Résistance à la rupture	Allongement p. 100	Limite d'élasticité	Résistance à la rupture	Allongement p. 100	Nombre total d'essais poussés à la rupture ou au refus	Nombre d'éprouvettes rompues	Nombre moyen de coups par barrette rompue	Nombre moyen de coups par barrette		
										Arrêt au 36e coup pour les barrettes non rompues					
Arc A $\frac{1}{2}$ gauche.......	32.6	61.3	17.0	24.6	49.5	18.3	28.0	54.1	18.1	51	16	25	32.6		7 éprouvettes défectueuses : L.... 26,7 R.... 48,7 (moy. sur 7 éprouv.) A.... 9,4
Arc A $\frac{1}{2}$ droite........	30.9	58.1	16.3	24.9	49.8	18.5	28.3	55.0	17.7	51	29	21	27.6		
Arc H $\frac{1}{2}$ gauche.......	32.1	61.4	15.3	24.6	46.1	17.7	27.9	54.3	16.6	44	16	22	31		8 éprouvettes défectueuses : L.... 28 R.... 51,6 (moy. sur 8 éprouv.) A.... 10,1
Arc H $\frac{1}{2}$ droite........	31.7	63.8	13.7	25.8	49.0	17.0	28.4	54.9	16.0	43	11	18	25.6		

Arc O	$\frac{1}{2}$ droite........	33.2	61.0	16.2	26.0	50.5	17.8	28.4	53.9	16.1	44	8	24	33.8		L.... [illegible] R.... 54,3 (moy. sur 10 éprouv.) A.... 11,1
Résumé pour la fourniture.		31.7	63.3	13.7	24.6	46.1	17.7	28.5	54.9	16.4	320	117	22.3	31		
Arc B	$\frac{1}{2}$ gauche.......	28.8	52.2	19	26	46.9	20.0	27.3	49.2	18.5	»	»	»	»	86°	7 éprouvettes défectueuses : L.... 26,6 R.... 46,9 (moy. sur 7 éprouv.) A.... 9
	$\frac{1}{2}$ droite........	32.4	56.6	15.8	28.0	46.0	22.3	28.0	50.4	18.1	»	»	»	»	75°	
Arc F	$\frac{1}{2}$ gauche.......	29.8	51.3	18.3	25.2	48.8	19.0	27.2	50.3	20.1	»	»	»	»	73°	3 éprouvettes défectueuses : L.... 29,3 R.... 47,8 (moy. sur 3 éprouv.) A.... 9,3
	$\frac{1}{2}$ droite........	29.7	55.4	13.8	25.2	48.6	20.8	27.6	51.3	18.9	»	»	»	»	75°	
Arc J	$\frac{1}{2}$ gauche.......	28	53.7	24.2	26.7	46.5	20.3	27.3	50.3	19.0	»	»	»	»	75°	Aucune éprouvette défectueuse.
	$\frac{1}{2}$ droite........	28.2	52.6	15.5	26.9	47.1	23.5	27.0	50 0	19.8	»	»	»	»	74°	
Arc N	$\frac{1}{2}$ gauche.......	28.5	55.0	20.3	25.5	45.8	24.5	27.2	49.2	20.8	»	»	»	»	60°	Aucune éprouvette défectueuse.
	$\frac{1}{2}$ droite........	28.4	53.6	16.0	26.5	46.7	21.2	27.6	50.1	19.8	6	4	24	24.5	83°	
Résumé pour la fourniture.		32.4	56.6	15.8	25.5	45.8	24.5	27.4	50.1	19.4	6	4	24	24.5	74°	

TABLEAU RÉSUMÉ DES ESSAIS DU MÉTAL DES VOUSSOIRS (*suite*).

Désignation du demi-arc	Essais à la traction — Voussoir le plus dur — Limite d'élasticité	Voussoir le plus dur — Résistance à la rupture	Voussoir le plus dur — Allongement p. 100	Voussoir le plus doux — Limite d'élasticité	Voussoir le plus doux — Résistance à la rupture	Voussoir le plus doux — Allongement p. 100	Moyenne du $\frac{1}{2}$ arc — Limite d'élasticité	Moyenne du $\frac{1}{2}$ arc — Résistance à la rupture	Moyenne du $\frac{1}{2}$ arc — Allongement p. 100	Essais au choc — Nombre total d'essais poussés à la rupture ou au refus	Nombre d'éprouvettes rompues	Nombre moyen de coups par barrette rompue	Nombre moyen de coups par barrette	Angle à la rupture	Observations
Arc C $\frac{1}{2}$ gauche.......	35.1	73	13.3	33.9	62.9	18.5	34.4	65.0	16.1	54	54	16	16		20 éprouvettes défectueuses : L.... 35,2 R.... 61,9 A.... 8,3 (moy. sur 20 éprouv.)
Arc C $\frac{1}{2}$ droite........	39.3	72.7	13.9	30.3	55.2	17.9	34.3	65.0	16.0	54	54	19	19		
Arc G $\frac{1}{2}$ gauche.......	40.2	74.4	14.9	33.7	59.7	14.7	37.0	66.8	15.7	54	54	15	15		11 éprouvettes défectueuses : L.... 36,6 R.... 64,2 A.... 9,1 (moy. sur 11 éprouv.)
Arc G $\frac{1}{2}$ droite........	42.4	75.9	13.8	36.1	64.5	17.0	37.7	68.8	15.7	54	54	15	15		
Arc M $\frac{1}{2}$ gauche.......	40.9	74.9	14.9	35.3	64.2	16.1	38.7	69.1	15.7	54	54	15	15		13 éprouvettes défectueuses : L.... 38

Arc D	½ gauche	29.5	55.3	17.2	28.0	48.5	18.7	28.7	52.0	18.5	21	3	9	30.2	71°	14 éprouvettes défectueuses : L.... 28,5 R.... 49,5 (moy. sur 14 éprouv.) A.... 9,9
	½ droite	29.5	57.5	21.3	27.5	49.8	20.7	28.6	52.2	17.8	27	11	18	28.4	92°	
Arc I	½ gauche	29.1	55.6	18.5	27.4	49.5	18.0	28.6	52.8	17.3	26	11	13	24.8	94°	8 éprouvettes défectueuses : L.... 28,9 R.... 52,6 (moy. sur 8 éprouv.) A.... 10,4
	½ droite	30.0	57.9	13.0	26.5	46.1	22.7	28.4	52.8	17.8	24	6	20	31.9	86°	
Résumé pour la fourniture.		30	57.9	13	26.5	46.1	22.7	28.6	52.4	17.9	98	31	16	28.8	86°	
											Arrêt au 21e coup pour les barrettes non rompues.					
Arc E	½ gauche	36.1	63.5	15.3	31.4	53.1	19.0	35.7	58.1	15.8	43	28	14.4	17.1	134°	8 éprouvettes défectueuses : L.... 35,7 R.... 51,8 (moy. sur 7 éprouv.) A.... 6,7
	½ droite	37.5	59.2	14.5	33.4	54.2	17.7	35.2	56.9	15.8	36	17	13.5	17.4	128°	
Arc K	½ gauche	38.7	62.8	14.3	27.8	51.0	25.3	32.1	54.6	18.7	32	16	14	17.6	101°	9 éprouvettes défectueuses : L.... 33,3 R.... 49 (moy. sur 7 éprouv.) A.... 7,8
	½ droite	37.1	59.5	12.5	27.7	46.6	24.7	33.5	54.9	17.8	30	12	13	18.1	114°	
Résumé pour la fourniture.		38.7	62.8	14.3	27.7	46.6	24.7	34.1	55.6	17	141	73	14	17.5	119°	

Dans un second tableau, on a groupé les résultats des essais qui ont été faits à l'École des Ponts et Chaussées sur le métal des voussoirs, chaque essai portant sur trois barrettes.

Une colonne de ce tableau contient les résultats d'essais de densité faits sur un certain nombre d'échantillons.

TABLEAU DES RÉSULTATS DES ESSAIS FAITS AU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES SUR LE MÉTAL DES VOUSSOIRS EN ACIER MOULÉ.

DÉSIGNATION de l'usine	NOMBRE TOTAL D'ESSAIS	VOUSSOIR LE PLUS DUR			VOUSSOIR LE PLUS DOUX			MOYENNE DES ESSAIS			ESSAI DE DENSITÉ	OBSERVATIONS
		Limite d'élasticité	Résistance	Allongement p. 100	Limite d'élasticité	Résistance	Allongement p. 100	Limite d'élasticité	Résistance	Allongement p. 100		
Arcs A. H L. O.....	5	27.3	58.9	14.3	20.1	46.8	18.3	25.2	53.4	16.8	7.768	Un essai direct fait au Creusot sur des voussoirs entiers a donné 7.618, 7.643, 7.813 moy. 7.691
Arcs B. F. J. N......	5	24.4	52.0	20.2	19.5	44.5	23.2	23.1	48.1	20.4	7.782	
Arcs C. G. M........	5	38.7	72.4	14.7	34.7	62.9	15.8	36.2	65.7	16.2	7.774	
Arcs D. I...........	3	26.2	51.9	20.7	24.6	49	19	26.1	50.3	19.7	7.798	
Arcs E. K..........	3	35.6	59.9	14.8	29.4	57.1	13	32.5	57.2	12.9	7.730	

Avant de comparer les résultats de ces tableaux, il convient de faire quelques remarques sur la manière dont ils sont dressés.

En premier lieu, on n'a pas tenu compte pour mesurer l'allongement moyen des éprouvettes défectueuses, parce qu'il s'agit de définir la nuance du métal et que la présence de soufflures dans les éprouvettes en fausserait l'appréciation; d'ailleurs certaines usines (Saint-Étienne) ayant jugé avantageux pour elles de prélever les éprouvettes dans la masselotte même où il y a plus de chance de rencontrer des défauts qu'ailleurs, il est indispensable de faire abstraction des éprouvettes défectueuses dans

la comparaison des résultats et de ne conserver que les éprouvettes normales.

Dans la colonne d'observations, nous avons indiqué d'ailleurs le nombre d'éprouvettes défectueuses rencontrées avec la moyenne fournie par l'ensemble de ces éprouvettes.

En second lieu, l'essai de choc n'a pas été poussé jusqu'à rupture sur toutes les barrettes et la course des appareils n'est pas la même dans toutes les usines : d'autre part, dans certaines usines le nombre des essais a été plus nombreux au début; après que la qualité du métal eut été reconnue, on a réduit le nombre des essais.

Il convient donc, en lisant le tableau, de tenir compte des indications des quatre colonnes relatives à cet essai de choc.

En troisième lieu, le nombre des essais faits à l'École des Ponts et Chaussées est trop restreint pour qu'on puisse en tirer des déductions générales. Certains de ces essais ont été faits sur des voussoirs spécialement choisis parce qu'ils avaient donné des résultats faibles.

Afin de permettre une comparaison plus complète des différentes espèces de moulages qui constituent la fourniture nous avons réuni dans le tableau ci-après les résultats principaux qui ressortent des tableaux précédents avec quelques données concernant la composition chimique, les conditions de coulée et de recuit.

TABLEAU COMPARATIF DES RÉSULTATS PRINCIPAUX DE LA FABRICATION DES ARCS.

DÉSIGNATION de la fourniture et du mode de fabrication	COMPOSITION chimique	CONDITIONS de résistance à la traction	NOMBRE moyen de coups par barrette	CONDITIONS de recuit	CONDITIONS de la coulée	NATURE du sable	OBSERVATIONS sur l'état des surfaces
Arcs A. H. L. O. (Four Martin acide et basique)	C 0/0 0,45 Si 0/0 0,35 Mn 0/0 0,50	Limite d'élasticité. 28,5 Résistance 54,9 All. p. 100 16,4	31	Durée totale 108h. Température atteinte 950 à 1000° Maintenue 6h.	Moule incliné à 10 p. 100. — Deux massel. aux angl. Coulée en fer à cheval par les masselottes.	Sable séché avec partie superficielle en débris de creusets pulvérisés	Les surfaces sont belles, les arêtes sont généralement nettes. Rares piqûres sur les parties rabotées.
Arcs B. F. J. N. (Four Martin basique)	C 0/0 0,27 Si 0/0 0,18 Mn 0/0 0,65	Limite d'élasticité. 27,4 Résistance 50,1 All. p. 100 19,4	24.5	Durée totale 60h. Température atteinte 1000 à 1050° Maintenue 4h.	Moule incliné à 60° sur l'horizontale. Avec masselotte unique. Coulée latérale en source.	Sable séché	Les surfaces généralement belles présentent quelquefois des flaches causées par des arrachements de sable, des rigoles sinueuses dites traces de sangsues. La netteté des arêtes des nervures n'est pas parfaite.
Arcs C. G. M. (Four Martin basique)	C 0/0 0,46 Si 0/0 0,33 Mn 0/0 0,59	Limite d'élasticité. 36,7 Résistance 67,1 All. p. 100 15,8	15.8	Deux recuits : L'un après la coulée. Temp. 800°. L'autre après refroidissement. Durée 28h. Tempér. 1000°. Maintenue 2h. Abaissement brusque de 1000° à 700°.	Moule incliné à 17,5 p. 100. Huit à dix masselottes. Coulée en fer à cheval par les masselottes supérieures.	Sable séché	Les surfaces généralement belles présentent au droit de la coupe des nervures de petites cavernes de retassement ; quelques petites cavernes ont été également observées dans les trous de boulons des faces de joints.
Arcs D. I (Four Martin basique)	C 0/0 0,26 à 0,35 Si 0/0 0,32 à 0,22 Mn 0/0 1,00 à 0,73	Limite d'élasticité. 28,6 Résistance 52.4 All. p. 100 17.9	28.8	Durée totale 80 à 85h. Température atteinte 1.050 à 1.100° Maintenue 6h.	Moule incliné à 10 p. 100. Masselotte unique. Coulée par la masselotte.	Sable séché av. enveloppe en terre à creusets	Les surfaces généralement belles présentent quelques traces de soufflures surtout vers la masselotte et quelques gravelures assez marquées sur la face de l'âme en dessous.
[illegible]	[illegible]	Limite d'é- [illegible]	[illegible]	Durée tot. 80 à 85h. [illegible]	Moule incliné à 43 [illegible]	Sable séché	Les surfaces et les arêtes sont [illegible]

L'examen de ce tableau forcément succinct fait voir qu'on peut obtenir un métal satisfaisant aux conditions du cahier des charges par des moyens très divers ; chaque usine a ses tours de main qui réussissent bien avec la nature du métal dont elle a l'habitude et qui lui permettent de réduire la proportion des rebuts ; c'est la préoccupation constante des chefs des aciéries. Les surfaces sont plus généralement belles lorsque l'usine dispose de terre à creusets pour garnir la portion des moules en contact avec l'acier liquide. Le métal de nuance plus dure, plus fluide, remplit mieux le moule, mais est plus sujet à la tapure et à la cristallisation, et il faut prendre des précautions plus sérieuses pour éviter ce double inconvénient. Le métal de nuance plus douce donne plus facilement des défauts de surface, mais présente une plus grande résistance au choc : à Saint-Chamond on a estimé éviter la soufflure par la grande inclinaison et le mode de coulée ; mais des arrachements de sable se sont produits ; à Saint-Étienne, avec la même nuance d'acier, il y a quelques trous de soufflures superficiels et des gravelures qui paraissent provenir des difficultés de dégagement des gaz, mais beaucoup moins de flâches. Au Creusot et à Saint-Jacques, où la composition chimique moyenne du métal est très voisine, on a obtenu des résultats très différents comme résistance, et ces différences tiennent vraisemblablement aux conditions dans lesquelles a été effectué le recuit.

La démonstration de l'influence du recuit a été faite d'une manière très topique à l'usine de Firminy : les arcs E et K ont donné les résultats suivants en moyenne :

	ARC E.	ARC K.
Limite d'élasticité........	35,5	32,8
Résistance	57,5	54,7
Allongement 0/0.........	15,8	18,3

La différence provient du fait que l'usine, ayant reconnu

la défectuosité de certaines opérations de recuit a construit pendant le cours de la fabrication un nouveau four moins exposé au refroidissement rapide.

La résistance au choc s'est trouvée améliorée en même temps que la limite d'élasticité s'abaissait et que l'allongement augmentait. En examinant, d'ailleurs, les résultats de plus près, en prenant, par exemple, dans l'arc K la moyenne des essais des voussoirs qui ont été fabriqués et recuits en dernier lieu, on trouve pour ces voussoirs les moyennes suivantes :

Limite d'élasticité..........	30,3
Résistance..................	52,6
Allongement 0/0............	22,3

En même temps l'essai de choc s'améliorait sensiblement : sur dix-sept essais concernant les treize voussoirs considérés, treize étaient poussés au refus de vingt et un coups de mouton et l'angle moyen des barrettes à la rupture à la presse s'abaissait à 72°.

L'étude des renseignements concernant les épaisseurs des voussoirs apprend encore que les épaisseurs ne sont pas réalisées avec une précision absolue : il y a sur les semelles des variations d'épaisseurs qui atteignent facilement 4 à 5 millimètres ; ces variations n'ont pas entraîné le rebut des pièces, car il y avait généralement compensation, au point de vue de la résistance, grâce au surcroît de dimension de l'âme ; nous croyons devoir signaler spécialement ce point, parce qu'il démontre que l'emploi en matière de moulage d'acier de trop faibles épaisseurs, difficiles à réaliser avec précision, est de nature à en faire augmenter le prix d'une manière très marquée.

Rotules. — Le métal des rotules a fait l'objet d'essais et de contre-essais dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

DÉSIGNATION de l'usine	MOYENNE DES SÉRIES D'ESSAIS FAITS A L'USINE			MOYENNE DES ESSAIS FAITS A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES				OBSERVATIONS
	Limite d'élasticité	Résistance	Allongement p. 100	Limite d'élasticité	Résistance	Allongement p. 100	Essais de densité	
Usine Saint-Jacques.	*47.9	70.5	17.5	*37.5	72.5	18.5		* Une éprouvette n'a pas accusé de limite d'élasticité.
Usine Saint-Chamond.	43.6	62.4	23.8	43.8	63.7	19.7	7.843	
Usine du Creusot....	44.3	65.2	20.2	45.9	73.5	20.5	7.840	
Usine de Saint-Étienne	51.1 42	75.0 65.3	18.4 21.3					
Usine de Firminy....	40.1	65.5	21.7	43.9	64.9	18.2	7.808	

Dans l'essai au choc, un certain nombre de barreaux ont été traités comme ceux prélevés pour le métal à canon; ils ont subi sans se rompre une volée de quinze coups de mouton tombant de $2^m,75$ de hauteur.

Usinage. — L'usinage des voussoirs comprenait les opérations suivantes : le traçage, le rabotage et la rectification des faces de joints, le rabotage des portées, le perçage des trous, le montage provisoire, l'alésage et l'affleurage.

Parmi les divers procédés employés pour ces diverses opérations, nous décrirons ceux qui ont été employés aux ateliers de la Ville-Gozet.

Pour le tracé des voussoirs, de même que pour celui de l'épure, on a fait usage d'une équerre ou gabarit composée d'un élément de la courbe moyenne et de deux normales à cette ligne moyenne. « Le gabarit consiste dans ses par-
« ties essentielles en une bande de tôle de 4 mètres envi-
« ron de longueur dont une arête est ajustée sur un tracé

« soigneusement exécuté par points de la courbe
« moyenne. »

La courbe moyenne, ainsi que nous l'avons expliqué, est un arc de cercle de 228,5586 de rayon.

« Cette bande de tôle est liée à ses deux extrémités à
« deux autres bandes dont les arêtes extérieures parfaite-
« ment dressées sont placées normalement à la courbe
« moyenne.

« Deux évidements ménagés à la rencontre des bandes
« de tôle permettent, en présentant le gabarit à droite
« ou à gauche, de tracer les lignes de joints de voussoirs
« de longueurs différentes.

« Le corps du gabarit est composé d'éléments nervés,
« cornières formant avec quelques petits plats de petites
« poutres à treillis. Il est pourvu d'attaches qui permettent
« de le saisir en deux points convenables au moyen des
« appareils de levage. »

L'emploi de cette équerre solide se comprend de soi-même. Une fois la courbe moyenne et la face de joint tracées, il était facile de tracer au moyen d'autres gabarits les courbes d'intrados et d'extrados dont les points sur les lignes de joints étaient connus par leur distance à la courbe moyenne.

Après traçage, les voussoirs étaient portés aux machines à raboter et, après le rabotage de la deuxième face de joint, le voussoir était replacé sur le marbre où on s'assurait que chacune des faces se trouvait bien normale au plan médian des voussoirs.

« Cette vérification achevée, les surfaces étaient
« passées à la lime en vue d'enlever les sillons laissés par
« l'outil et aussi d'assurer par des rectifications la portée
« sur toute la surface du joint. Pour cela, les voussoirs
« étaient placés debout au centre d'un plancher circulaire
« élevé à la hauteur convenable et permettant à l'ajusteur
« d'atteindre commodément tous les points de la surface

« du joint. Un marbre suspendu à portée au moyen d'une « petite grue pivotante était également mis en contact « avec le joint jusqu'à parfait achèvement de ce dernier.

« Après avoir subi ces opérations principales d'usinage « et aussi le rabotage de la surface d'appui (portée du pied « du montant), le voussoir était envoyé sur une machine « à percer. Les trous de boulons d'assemblage des brides « de joints étaient percés à un diamètre plus faible de « quelques millimètres que les cotes des dessins, cela en « vue d'obtenir par alésage sur place après réglage au « montage provisoire la parfaite concordance des trous « des brides de deux voussoirs consécutifs. »

Dès qu'un voussoir se trouvait usiné dans ces conditions, il était porté sur le chantier de montage à sa place définitive; on assemblait ensuite les voussoirs entre eux avec des boulons provisoires.

L'alésage des trous, le ragréement des surfaces, c'est-à-dire l'affleurage des petites saillies que présentaient les voussoirs entre eux, se poursuivaient simultanément. A chaque face de joint on soignait particulièrement l'alésage des trous des boulons-broches.

La dernière opération était le perçage des trous sur le bossage d'appui du pied du montant, qui ne pouvait être tracé que d'après l'épure.

En même temps que le travail d'usinage s'achevait, les agents du contrôle procédaient aux vérifications qui devaient nécessairement se faire sur épure.

Il ne restait plus, après le démontage de l'arc, qu'à faire l'affleurage sur la face qui était en contact du marbre; on y parvenait très facilement en assemblant les voussoirs consécutifs avec leurs boulons-broches.

Les voussoirs, une fois terminés, étaient pesés, peints et repérés.

Le travail d'usinage a été fait avec une perfection extrême aux ateliers de la Ville-Gozet; les surfaces des

joints étaient comme polies. Au Creusot, les joints ont été simplement rabotés ; ils n'ont pas été retouchés, et le grain de l'outil était parfaitement apparent ; mais le rabotage était fait avec une régularité et une précision très rigoureuses, de telle sorte que le résultat obtenu en fin de compte a été trouvé comparable au résultat obtenu par les ateliers qui ont opéré comme celui de la Ville-Gozet.

Parmi les diverses opérations de l'usinage, celle du rabotage est celle qui a préoccupé le plus les usines. Le nombre des outils capables de faire un travail satisfaisant sur des pièces aussi volumineuses se trouvait limité dans chacune d'elles ; c'est donc le rabotage qui réglait les délais de fabrication.

Les vérifications ont porté les unes sur chaque demi-arc assemblé, les autres sur chaque voussoir en particulier.

On s'est assuré d'abord de la conformité de chaque demi-arc avec l'épure de recette. L'examen a porté sur la longueur et la hauteur des arcs, sur l'aspect des surfaces et des arêtes de l'intrados et de l'extrados, sur la direction des joints, sur celle de l'âme, sur le tracé des portées et le serrage des joints.

Ces diverses constatations ont fait l'objet, pour chaque demi-arc, d'un procès-verbal.

Chaque voussoir a été, en outre, examiné en particulier soit au moment de la présentation sur épure, soit après le démontage, au point de vue des épaisseurs des sections, des défauts de fabrication, du poids. Ces renseignements sont consignés pour chaque voussoir sur un bulletin spécial.

VIII. — Mise en place des arcs.

Montage des arcs à pied d'œuvre. — Le principe du montage et la description détaillée du pont roulant ont été

donnés à propos de l'exécution de ce pont de service; il est superflu d'y revenir; mais il convient d'indiquer avec quelques détails les opérations exécutées et les appareils qui ont servi aux diverses manœuvres.

Le cintre destiné à supporter les arcs est en trois parties : la partie médiane seule est supportée par le pont roulant; les deux parties latérales sont portées chacune par quatre files de pieux battus en rivière et moisées un peu au-dessus du niveau de l'eau; elles sont composées de quatre fermes espacées de $2^m,857$ dont deux se trouvent à l'aplomb des arcs en montage. Ces quatre fermes sont reliées à la partie supérieure par un plancher en bois et au-dessus des moises des pieux par des semelles qui peuvent glisser sur ces moises. On peut ainsi faire glisser chacune des parties du cintre d'une position à une autre au-dessus des pieux sans avoir à les démonter (*), en les poussant au moyen de crics et en les tirant avec des palans

Le plancher suspendu dans la travée centrale du pont roulant est constitué par une série de poutrelles suspendues au droit des montants verticaux du pont roulant. Les poutrelles formées par de légers fers à ⊐⊏ portent deux longerons en fers à I placés immédiatement au-dessous des voussoirs. Elles sont également reliées par une série de chevrons en bois qui viennent affleurer le niveau du dessus des ⊐⊏. Le tout est recouvert d'un plancher en demi-madriers jointifs. L'épaisseur totale du plancher ainsi constitué du dessous des fers à ⊐⊏ jusqu'au-dessus du platelage est de $0^m,24$.

Chaque poutrelle est suspendue au moyen de six tiges verticales; les deux extrêmes sont accrochées directement aux semelles des poutres du pont roulant, et les quatre intermédiaires aux montants et consoles des

(*) La disposition de ces cintres est figurée sur la planche 30 du 3e trimestre 1898.

cadres qui relient les poutres au droit des montants; en outre, deux tiges obliques l'une à l'amont, l'autre à l'aval servent à contreventer le système.

Chacune des huit tiges est articulée à ses deux extrémités; elle est composée de deux barres rondes filetées en sens inverse du côté opposé à l'articulation et réunies par un écrou de serrage à double tête. Chacune des barres peut, grâce à cette disposition, être allongée ou raccourcie; il en résulte qu'on peut à volonté faire passer la charge d'une barre à une barre voisine et dégager la barre déchargée en déclavetant le goujon d'articulation.

Il est facile de se rendre compte que, grâce aux barres surabondantes de suspension, il est toujours possible, pendant le déplacement du pont, de supprimer temporairement, par le moyen ci-dessus indiqué, les barres qui viendraient en contact des parties d'arc montées sans que le plancher cesse d'être bien supporté et de les rétablir lorsque l'arc est franchi.

Ces manœuvres sont faciles, car le poids du plancher est très réduit, 500 kilogrammes par mètre courant de pont, soit pour un ensemble de six tiges verticales qui correspondent à une longueur de 3^{m},625 une charge de 1.800 kilogrammes en chiffre rond, soit de 300 kilogrammes par barre.

L'opération de déplacement du pont roulant avec le cintre qu'il supporte est faite de la manière suivante :

On commence par décaler le pont sur les appuis intermédiaires en le soulevant avec des vérins hydrauliques, et on transporte les parties inférieures des pièces d'appui à changer de place. On choisit une journée de temps calme, afin que la résistance du vent soit faible. Le pont étant décalé, on démonte les deux séries de tiges voisines du côté amont des arcs du dernier groupe monté, et on commence le mouvement de translation. Celui-ci est obtenu au moyen de deux treuils placés sur chacune des rives; chaque treuil actionne un palan attaché au cadre

inférieur du chevalet et exerce ainsi un effort de traction dans le sens de la marche ; on trace à la craie sur les rails une graduation de 20 en 20 centimètres, et les équipes de chaque rive manœuvrent au commandement, de manière à faire avancer chacune d'une division le chevalet sur lequel elles agissent.

C'est la même équipe qui est occupée alternativement au démontage et au remontage des tiges et à la manœuvre des treuils. L'opération ne demande pas plus de sept heures, y compris le transport des appareils d'appui.

Si l'on ajoute à ce nombre d'heures le temps nécessaire pour riper chacune des parties des cintres près des rives qui est d'environ sept heures, également pour chacun, on arrive, pour l'ensemble de l'opération de translation des cintres, à deux journées. Il convient d'ajouter que le déplacement du pont roulant doit être précédé de celui des chevalets sur pylônes, sur lequel nous reviendrons plus loin, en supputant la durée totale de l'opération de montage d'un groupe d'arcs.

Bardage et mise en chantier des pièces. — Les voussoirs des arcs sont approvisionnés dès leur arrivée sur les chantiers à proximité des culées au moyen de deux grues à vapeur sur rails. Celle de rive droite a sa voie de roulement au niveau du quai de la Conférence, et les voussoirs sont mis en parc soit sur la chaussée du quai, soit sur la couverture du passage des tramways. Celle de rive gauche est sur la culée même, et comme les camions ne peuvent arriver à proximité, les voussoirs sont déchargés d'abord au moyen d'un pont roulant et placés sur des wagonnets qui les amènent sous la grue.

Lorsque tous les voussoirs d'un groupe d'arcs sont approvisionnés et que le moment de commencer le montage est venu, les grues reprennent les voussoirs et les placent sur ces wagonnets qui sont amenés sous le pont roulant ; sur

la rive droite, la voie des wagonnets et celle de la grue étant l'une sur le quai, l'autre sur la culée, les pièces sont descendues par la grue dans une travée de la couverture du passage des tramways laissée libre à cet effet.

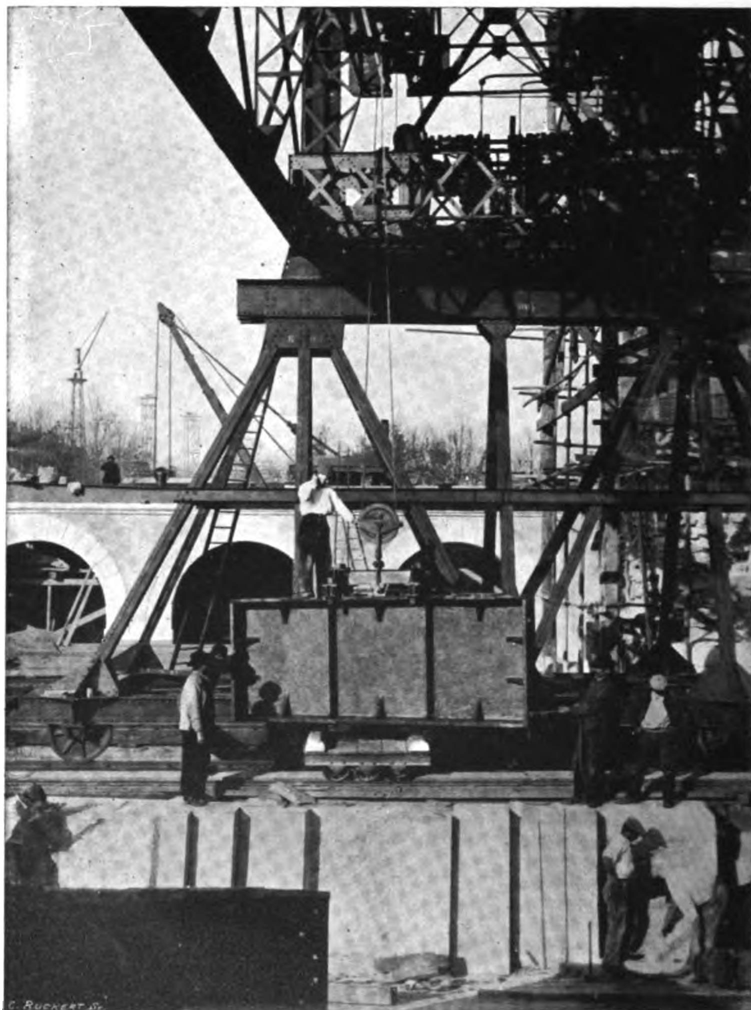
Le pont roulant porte, ainsi qu'il a été dit, deux voies de roulement sur lesquelles peuvent circuler quatre chariots de manœuvre (Voir Pl. 7).

La voie est formée par des fers à I de 140 millimètres de hauteur, espacés de $0^m,31$ d'axe en axe ; le chariot est constitué par deux paires de galets espacés de $1^m,80$ d'axe en axe, et par un cadre formé par deux fers à ⊔ de 175 millimètres, placés verticalement et reliés horizontalement par des plats rivés sur leurs ailes ; le cadre est traversé par quatre tourillons, dont deux sont les essieux des galets de roulement et les deux autres les supports de deux poulies placées sur l'axe du chariot. Les flasques du cadre sont renforcées par des plats de 25 millimètres d'épaisseur au passage de ces deux tourillons.

C'est sur deux de ces plats que viennent s'attacher à l'avant et à l'arrière des chariots les chaînes de traction.

Chaque chariot est attaché à une chaîne sans fin qui s'enroule, d'une part, à l'une des extrémités du pont sur une poulie à empreinte montée sur l'axe d'un treuil à vapeur et, d'autre part, sur une poulie de renvoi placée vers le milieu du pont. Les deux brins de la chaîne sont logés chacun dans une gouttière supportée la première par le rail placé du côté de la chaîne, et l'autre par des étriers rivés aux entretoises du pont en dessus des voies du chariot. En faisant tourner dans un sens ou dans l'autre la poulie montée sur le treuil, on détermine l'entraînement du chariot dans un sens ou dans l'autre.

Le mouvement vertical des pièces est obtenu à l'aide d'un câble en acier qui passe sur les deux poulies du chariot et porte suspendue une autre poulie à la chape de laquelle est attachée la charge.



TRANSPORT DES VOUSSOIRS.

Le câble a l'une de ses extrémités fixée vers le milieu du pont, et l'autre enroulée sur le tambour d'un treuil à vapeur.

Entre la poulie du chariot et son point d'attache, le câble prendrait une flèche importante, s'il n'était soutenu, et il serait exposé, dans les fouettements qui se produiraient fatalement, à accrocher telle ou telle partie de l'ossature; il pourrait en résulter des ruptures et de gros accidents. Pour y remédier, le câble est engagé sur des poulies à gorge placées dans l'axe au-dessus du niveau des chariots. La position de ces poulies est réglée de telle sorte que la partie supérieure de leur gorge soit légèrement au-dessous de celle des poulies portées par le chariot. Pour permettre le passage de celles-ci, les poulies de support du câble peuvent s'ouvrir; la gorge est composée de deux parties qui sont maintenues en contact par des contrepoids portés par les tourillons de chaque demi-poulie. Au passage du chariot, un fuseau fixé sur la face supérieure du cadre sépare les deux parties de la gorge et les maintient écartées; après le passage du chariot, les deux parties se rapprochent par l'effet des contrepoids, et le câble se trouve emprisonné.

Grâce à ces dispositions ingénieuses, le mouvement de translation du chariot et le levage des pièces s'opèrent régulièrement et sans incident.

De chaque côté du pont roulant, sur des consoles portées par les abouts, se trouvent disposés un double treuil à vapeur et une chaudière; un mécanicien de chacun de ces postes conduit les treuils et suit les ordres qui lui sont donnés par les chefs de chantiers au moyen de signaux de sifflet.

Les poulies de renvoi des chaînes et l'attache des câbles n'ont pas été placés rigoureusement au milieu du pont, mais à quelque distance de la clé de manière que les voussoirs de clé dont la longueur est inférieure à celle des

chariots fussent mis en place tous deux par le même chariot.

Le palonnier auquel sont suspendus les voussoirs mérite une attention particulière (Voir Pl. 7).

Un fer à I de 1^{m},25 de long et de 0^{m},175 de hauteur porte, rivés à ses deux extrémités, au moyen de robustes goussets, deux groupes de fers à U verticaux et jumellés; l'ensemble affecte en plus la forme d'un H dont les deux barres parallèles sont espacées d'un mètre. Dans chacun des groupes de fers à U sont engagées des tiges filetées à l'une de leur extrémité et portant un talon à l'autre; le talon est à la partie inférieure et l'écrou prenant appui sur les fers U permet d'en faire varier le niveau. Les boulons d'une même barre du H laissent entre eux un espace un peu supérieur à la largeur des semelles des voussoirs. Le tout est une sorte de griffe que l'on veut poser sur la semelle supérieure du voussoir à barder. On engage les talons sous les semelles et on serre les écrous de manière que l'ensemble fasse corps avec le voussoir.

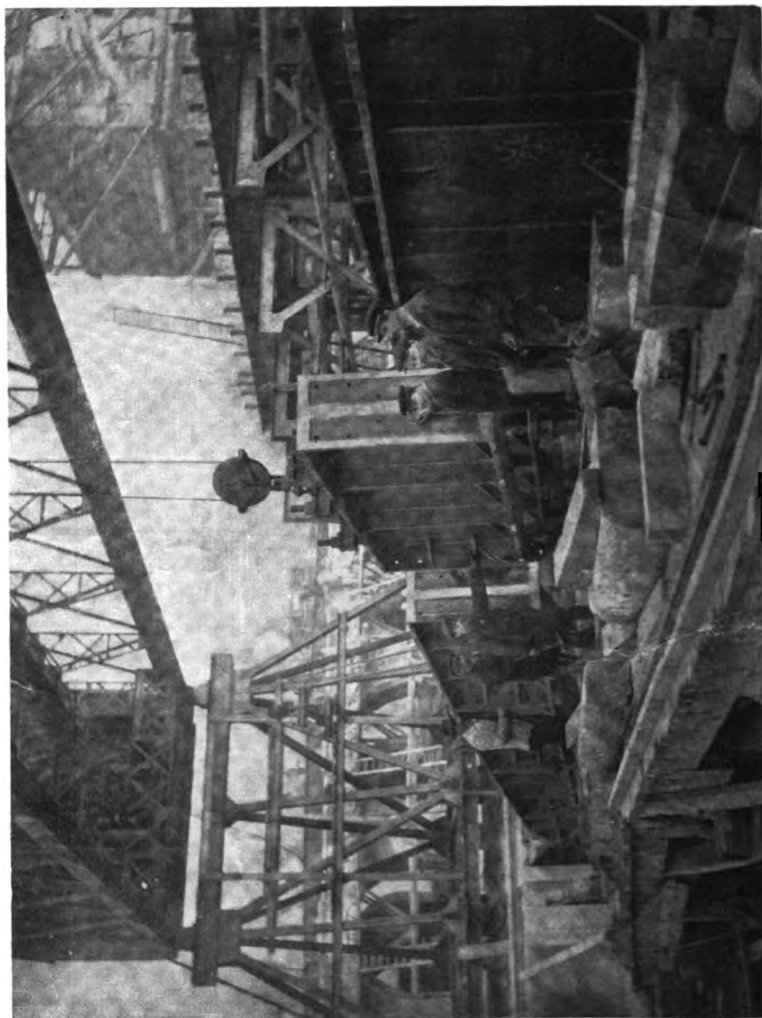
Entre les barres du H, au-dessous de la poutrelle médiane, est disposée une tige filetée sur laquelle est engagé un écrou qui vient coulisser sur l'aile inférieure de la poutrelle; en actionnant avec un cliquet l'extrémité de cette tige on déplace l'écrou tout le long de la griffe. L'écrou porte deux tourillons sur lesquels s'engage une double tige articulée à l'autre extrémité à la chape de la poulie supportée par le câble.

Il est facile de se rendre compte qu'en actionnant le cliquet on déplace à volonté le point de suspension de la griffe et qu'on modifie, par suite, l'inclinaison des voussoirs.

Les divers appareils que nous venons de décrire, chariot, treuil, palonnier, permettent non seulement de transporter les voussoirs, mais encore de les présenter en un point quelconque du cintre avec une inclinaison donnée.

Le transport des voussoirs sur les cintres s'opère en

Page 197 *bis*.



MONTAGE DES ARCS.

deux journées; on place d'abord directement les voussoirs sur le platelage des cintres, et on ne commence le montage que lorsque le bardage à pied d'œuvre est achevé.

La première opération est la mise en place du sabot de
ombée. C'est une opération délicate qui est faite par le
monteur lui-même; ce travail est facilité par l'emploi
équerre spéciale dont un des côtés donne la direc-
de la ligne de base, et l'autre celle de l'axe de la
. Néanmoins ce n'est qu'après de nombreux tâton-
nts que la pièce est amenée dans sa position exacte;
e en place des quatre sabots d'un groupe d'arcs
nde une journée entière de soins; on y procède d'ail-
pour ne pas perdre de temps, pendant que l'on
les voussoirs sur les cintres.

fois que les pièces de retombée sont en place,
des rotules et des premiers voussoirs s'opère sans
ulté. Voici comment on procède pour les voussoirs
nts jusqu'à celui de clé : on commence par nettoyer
rtée jusqu'à ce que le métal soit à vif; on l'enduit
corps gras; préalablement, les parties de la face de
. en dehors des portées ont été soigneusement
intes. On engage le palonnier sous la semelle supé-
e du voussoir et on le soulève; un homme monté sur
semelle supérieure agit sur un cliquet pour amener
e de joint inférieure du voussoir en parallélisme avec
ce de joint du voussoir posé, et le monteur fait
cher les deux surfaces de joint; le voussoir est dirigé
ain par l'équipe; aussitôt qu'il y a contact, on laisse
ement glisser le voussoir en montage le long du vous-
monté et, au moment où les trous de boulons corres-
ants se trouvent en face l'un de l'autre, deux barres
trémités légèrement coniques y sont engagées, le
vement de glissement du voussoir se trouve ainsi
immédiatement arrêté. On remplace les barres par des

tiges calibrées au diamètre des boulons, légèrement coniques à une extrémité qu'on enfonce à coups de marteau, de manière à obtenir la coïncidence exacte des trous. On place immédiatement et sans difficulté les douze boulons, on cale le voussoir au moyen de pièces de bois, et on passe au voussoir suivant.

Ces manœuvres se font très aisément; le voussoir en montage se trouvant suspendu à l'inclinaison voulue, pendant qu'on le présente sur le voussoir monté, les efforts à développer pour établir la coïncidence des trous sont minimes. La manœuvre est très courte, et il faut beaucoup moins de temps pour la mise en place des voussoirs que pour le nettoyage de la surface du joint.

Au fur et à mesure que l'on monte les voussoirs, le chef monteur s'assure, avec une jauge qu'il présente entre deux portées rabotées, de l'écartement mutuel des arcs en montage et de leur distance à l'arc monté immédiatement en amont.

Le temps nécessaire pour mettre en place les voussoirs d'un groupe d'arcs jusqu'à la clé est de deux journées.

Lorsque tous les voussoirs sont ainsi assemblés, on règle les arcs de manière à placer les deux moitiés de chacun d'eux dans le même alignement et on les amène à la clé au même niveau. On vérifie que la position des rotules de naissance n'a pas changé. On butte avec des pièces de bois le voussoir de naissance sur les pierres granitiques de retombée de manière que le sabot d'appui ne supporte qu'une poussée presque nulle.

Le réglage d'un groupe d'arcs demande une bonne journée, ce n'est en effet que par de légers tâtonnements qu'on parvient au résultat définitif.

A ce moment, après que l'on s'est assuré de la bonne position de la rotule de naissance et de la portée des coussinets sur la rotule, on fait le scellement des sabots de retombée en versant dans le joint ménagé entre le gra-

nit et la face postérieure du sabot un coulis de ciment pur. Ce coulis est préparé avec les plus grands soins ; le mélange est fait avec du ciment de la meilleure qualité et de l'eau de source, la présence d'impuretés dans l'eau s'opposant à la bonne prise du coulis. Le coulis est amené par un malaxage prolongé jusqu'à la consistance d'un chocolat moyennement épais et débarrassé de tous grumeaux. L'excédent d'eau s'échappe à travers l'étoupe des joints ou bien se réunit à la partie supérieure ; on la chasse en versant sur un point une nouvelle quantité de coulis et en y revenant à plusieurs reprises pendant deux heures après le commencement de l'opération.

Le remplissage du joint étant achevé, on laisse la prise du ciment se faire, et on évite pendant quarante-huit heures toute opération qui pourrait produire un mouvement ou même de fortes vibrations de l'arc.

Prise du ciment. — Nous avons fait éprouver par le Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées des échantillons prélevés, après quatre jours de prise, dans des cylindres coulés dans des moules de verre, fermés à leur partie inférieure par des tampons d'étoupe. Dans chaque cylindre, on a découpé des tranches qui sont numérotées depuis le haut jusqu'en bas ; les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau ci-après ; ils ont porté sur des coulis faits avec des ciments de date différente.

DÉSIGNATION des éprouvettes (Les numéros vont de haut en bas).	CIMENT NOUVEAU		CIMENT ANCIEN		OBSERVATIONS
	Poids du m^3 du coulis de ciment (environ)	Résistance à la rupture par écrasement rapportée au cm^2 de surface portante	Poids du m^3 du coulis de ciment (environ)	Résistance à la rupture par écrasement rapportée au cm^2 de surface portante	
N°s 1..........	2.016^{kg}	30^{kg},1	1.974^{kg}	29^{kg},1	
2..........	1.095	32 ,1	2.012	40 ,3	
3..........	2.058	68 ,9	2.021	56 ,9	
4..........	2.005	54 ,9	»	»	
Moyennes.....	2.018^{kg}	46^{kg},5	2.002^{kg}	42^{kg},1	
N°s 1..........	2.028	37^{kg},4	1.972^{kg}	28^{kg},1	
2..........	2.026	36 ,9	2.004	29 ,3	
3..........	2.069	42 ,1	»	47 ,1 (*)	(*) Cette éprouvette a été coupée en deux dans le sens de la hauteur. La 1re moitié donnait 48^k,1. La 2e — 46^k,1.
4..........	»	»	2.034	56 ,2	
Moyennes.....	2.041^{kg}	38^{kg},8	2.003^{kg}	40^{kg},2	

Ces résultats font voir que la partie supérieure des coulis est à la fois plus légère et moins résistante ; que le plus faible résultat, 28^{kg},1, dépasse de 12 kilogrammes la charge de 16 kilogrammes par centimètre carré qui correspond à la poussée de l'arc au décintrement.

La résistance du coulis augmente à la partie inférieure, bien que la proximité du tampon d'étoupe paraisse influencer certains résultats.

Il est d'ailleurs superflu d'analyser de trop près les chiffres de cette expérience, qui a eu pour but principal de démontrer que la charge imposée au joint de ciment n'a pu en déterminer l'écrasement.

Opération de réglage à la clé. — Aussitôt que la position des arcs a été arrêtée définitivement en direction par le scellement des sommiers de retombée, on procède aux mesurages nécessaires pour déterminer l'épaisseur des

cales, d'où résulte le réglage du niveau à la clé. On admet que les arcs reposant sur de nombreux calages en bois portés par un platelage élastique ou par des poutrelles flexibles reçoivent sur toute leur longueur des réactions égales au poids placé au-dessus des calages et qu'ils n'ont par suite pas de tendance à se déformer. On note le niveau de chaque rotule de clé, la distance entre le fond des logements des rotules du côté amont et du côté aval et la température du pont.

Avec ces éléments on calcule la distance qui resterait libre en supposant le pont ramené à la température de 10° et au niveau qu'il doit occuper théoriquement à cette température. Ce calcul se fait très rapidement en remarquant que pour 1° de température un demi-arc s'allonge de 0,00065, et la clé s'élève de 0,00535 ; soit Δh ($h - 35,79$)(*) l'écart de hauteur, et Δt ($t - 10°$) l'écart de température, e l'espacement mesuré, l'épaisseur du calage E sera donnée par :

$$E = e - \left(\frac{\Delta h}{0,00535} - \Delta t\right) 0,00065 \times 2.$$

Pour éviter les pertes de temps, les constructeurs sont tenus d'avoir sur les chantiers un approvisionnement de cales d'épaisseurs variables, coupées de dimensions et percées à l'avance de manière à pouvoir, par une combinaison de quelques éléments, réaliser à moins de 1/2 millimètre l'épaisseur de cales qui est jugée nécessaire. Les cales employées sont remplacées après chaque opération.

Lorsque l'on fait le mesurage de la distance entre le fond du logement des rotules sur la face amont et sur la face aval des arcs, on trouve en général un léger écart qui a varié depuis $0^{mm},2$ jusqu'à $2^{mm},5$. Cet écart doit tenir à ce que, malgré toutes les précautions prises au montage à

(*) 35,79, altitude théorique de l'articulation à 10° après relèvement de la cambrure.

plat, le serrage des joints n'est pas identique sur la face appuyée et sur la face libre ; on conçoit en effet que, par le simple effet du frottement sur les cales, le serrage sur la face inférieure soit plus difficile à réaliser que sur l'autre. Pour assurer, malgré ce défaut de parallélisme, le contact des coussinets sur les rotules, on rattrape la différence sur le calage de clé en faisant raboter une ou deux des cales légèrement en coin, selon l'importance de l'écart à regagner.

Ce travail se fait pendant les journées qui séparent le scellement des sommiers de retombée du décintrement.

Décintrement. — C'est dans les deux derniers jours de la même période que l'on met en place les contreventements provisoires destinés à rendre les arcs d'un même groupe solidaires pendant le décintrement.

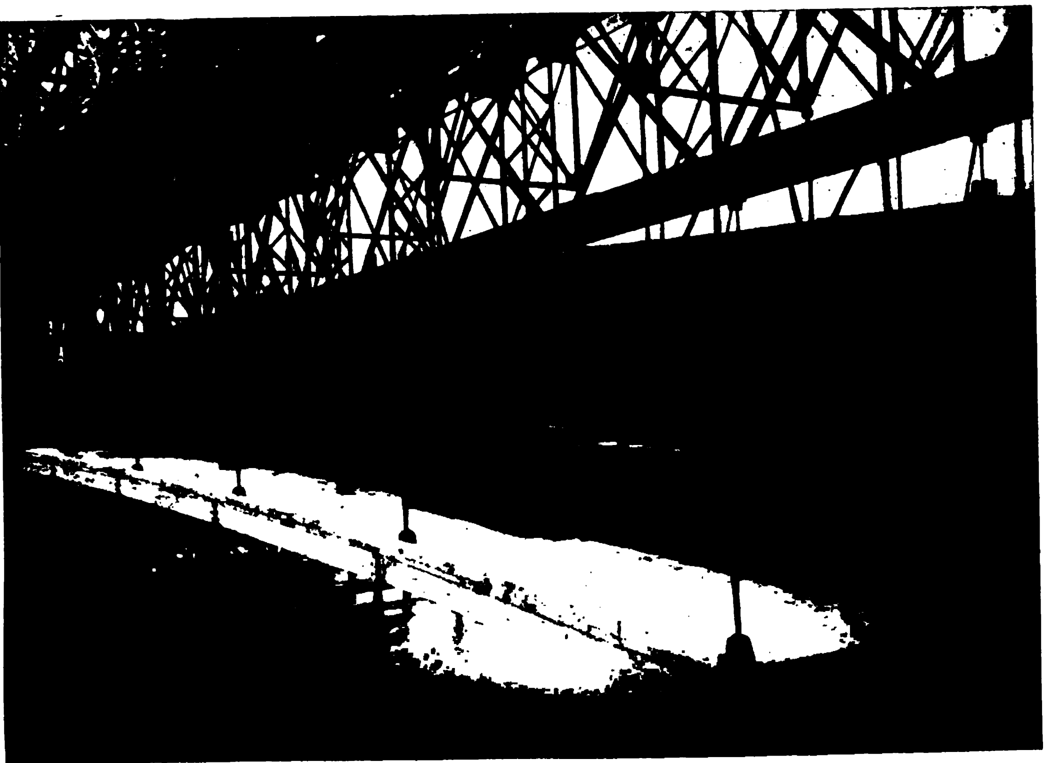
Ce contreventement est constitué par une double série de pièces : les unes sont des tirants en fers ronds boulonnés deux par deux sur des barres d'ancrage placées verticalement de $3^m,625$ en $3^m,625$. Ces tirants s'opposent à l'écartement des arcs. Les autres pièces sont des poutrelles en bois de $\frac{16}{16}$ disposées en croix de Saint-André, les unes dans des plans verticaux, les autres dans des plans parallèles à la fibre moyenne des arcs. Ces poutrelles maintiennent les arcs à écartement. En outre, au droit des chevalets sur pylônes, le groupe se trouve calé par des fourrures en bois placées entre les montants des pylônes et le bord extérieur des semelles des deux arcs du groupe.

La veille du jour du décintrement on dispose au-dessous des arcs, des vérins à vis au nombre de douze par demi-arc, soit quarante-huit pour l'ensemble du groupe. Quarante de ces vérins, notamment tous ceux qui sont disposés sur le pont roulant, sont dynamométriques.



CONTREVENTEMENT PROVISOIRE DES ARCS.

Page 203 *bis*.



FRAGMENT D'ARC SUR VÉRINS AVANT LE DÉCINTREMENT.

L'emploi des vérins de cette nature a été prescrit par le Cahier des Charges ; les ateliers de Chalon ont étudié, pour répondre à cette prescription, un type de vérin à vis et ressorts de forme pratique. L'écrou du vérin est un piston qui peut coulisser dans une couronne en acier moulé coiffant une boite cylindrique en tôle, dans laquelle se trouve logée une file de rondelles Belleville. L'écrou porte sur la surface cylindrique extérieure un tenon qui l'empêche de tourner, se trouvant engagé dans une rainure correspondante de la portée cylindrique de la couronne.

L'aplatissement des rondelles est fonction de la charge supportée par la tête des vérins, et la surface extérieure de l'écrou porte une graduation faite de 2 en 2 tonnes, sur laquelle on lit la valeur de cette charge. La course du vérin se trouve diminuée de celle des ressorts ; car, à mesure que l'effort diminue, l'écrou s'élève pendant que la tête du vérin s'abaisse.

Les vérins construits pour le pont Alexandre III sont gradués jusqu'à 16 tonnes, et leur course totale utile est de 10 centimètres (Voir pl. 7).

Ils sont disposés de manière à occuper le moins de place possible sous les arcs ; à cet effet, la boîte cylindrique est rivée, à sa partie supérieure, à deux brides venant s'appuyer sur les longerons au-dessus desquels les arcs sont montés, la boîte cylindrique étant placée entre les deux longerons.

Les vérins sont répartis le long des arcs aussi régulièrement que la disposition des cintres permet de le faire ; la présence des pylônes ne permet pas de conserver aux reins le même espacement que vers la clé.

Pour opérer le décintrement, on met d'abord les vérins en charge, de telle manière que la charge qu'ils accusent corresponde à peu près au poids de la section à laquelle ils correspondent. Cette charge est comprise entre 5 et 6 tonnes pour le vérin près de la clé ; elle va de 7

à 8 tonnes pour les vérins placés aux reins. La présence sous les vérins de ressorts qui les maintiennent en prise facilite singulièrement la répartition de la charge et à cet égard la forme spéciale des vérins dynamométriques employés présente des avantages particuliers. On retire alors les calages en bois, on met en place les cales de réglage et les rotules de clé en soulevant le pont, s'il y a lieu, pour obtenir le jeu nécessaire. On opère en agissant sur tous les vérins de manière à conserver à chacun la même charge.

Il ne reste plus qu'à laisser les arcs se mettre en charge en décalant les vérins. Cette opération se fait progressivement; on agit successivement sur chacun des arcs du groupe, de manière que l'abaissement relatif soit toujours faible; on ne court pas ainsi le risque de modifier le serrage des contreventements provisoires. On arrive à ce résultat en diminuant la réaction des vérins de quantités déterminées, alternativement sous chacun des arcs, en passant, par exemple, de 5 tonnes à 4 sous le premier arc, puis de 5 à 3 sous le second, de 4 à 2 sous le premier, et ainsi de suite. Les hommes manœuvrent au commandement du chef monteur; deux chefs de manœuvre surveillent chacun les vérins d'un demi-arc. Le décalage d'un groupe s'effectue en moins de deux heures.

On s'assure par un coup de niveau, immédiatement à la fin de l'opération, que les arcs sont à une altitude convenable. S'il est nécessaire, on peut relever les arcs et changer les cales; cette opération, qui a été faite notamment pour le deuxième groupe d'arcs, ne demande pas plus de quatre heures.

Dans le calcul des cales on a dû faire entrer la température du métal que l'on ne connaît qu'approximativement et sur laquelle on peut commettre une erreur de 2 à 3°. La variation correspondante du niveau de la clé peut atteindre 15 millimètres.

Une autre cause d'erreur est l'ignorance de la loi exacte des réactions des calages au moment des mesurages; on a supposé que l'arc posé sur cales ne subissait aucune déformation, alors qu'il peut en exister une, déterminée uniquement par un inégal serrage des cales.

Le cycle complet des opérations n'est pas terminé au décintrement du groupe d'arcs.

En même temps, en effet, qu'on entreprend la pose des entretoisements et des longerons en acier laminé, on commence le démontage et le transport des chevalets sur pylônes ayant servi à l'appui du pont roulant pendant le montage du groupe précédent et on les remonte dans la position qu'ils devront occuper pour le montage du groupe suivant. Ce transport est assez long, car le chevalet doit être démonté et remonté pièce à pièce et ce travail ne peut être confié qu'à un petit nombre d'ouvriers habiles; il demande environ huit journées; ce temps est à peu près égal à celui qui est nécessaire pour monter la superstructure en acier laminé.

En résumé, la durée totale du montage d'un groupe d'arcs, comptée du jour du décintrement du groupe précédent, peut être évaluée, sans tenir compte des demi-journées perdues le dimanche ou pour cause d'intempéries, à vingt journées, savoir :

Déplacement du chevalet d'appui............	7	20 journées (Durée réelle, en tenant compte des jours fériés et des intempéries, 22 à 25 j.)
Déplacement des cintres....................	2	
Bardage des voussoirs, pose des sommiers de retombée..................................	2	
Montage { Assemblage des voussoirs.........	2	
Montage { Réglage des arcs..................	2	
Scellement des sommiers, pose des contreventements provisoires..................	4	
Décintrement................................	1	

C'est là une évaluation théorique, en ce sens qu'elle suppose les livraisons des aciers laminés faites régulière-

ment ; cette vitesse de marche a été réalisée pour divers groupes d'arcs, ainsi qu'il ressort des dates des décintrements :

groupe AB, 3 décembre (*)
CD, 16 décembre
EF, 10 février
GH, 3 mars
IJ, 25 mars
KL, 29 avril
MN, 19 mai.

Mais des périodes d'arrêt ont dû être intercalées, parce que, contre toute attente, les aciers laminés n'ont pu être usinés de manière à alimenter le chantier.

La régularité et la réussite des opérations de montage réalisées jusqu'à ce jour font le plus grand honneur aussi bien aux ateliers du petit Creusot, qui ont étudié et réalisé les outils de montage et qui les ont mis en service, qu'aux établissements métallurgiques qui ont fondu et usiné les arcs.

(*) Entre ces deux décintrements il n'y a pas eu de déplacement des chevalets sur pylones.

NOTE ANNEXE N° X.

Bases du calcul.

Les bases adoptées pour les calculs de stabilité sont les suivantes :

L'épaisseur du pavage en bois est de $0^m,12$, hauteur adoptée par la Ville de Paris pour toutes les nouvelles chaussées ; le poids spécifique de ce pavage est compté à raison de 950 kilogrammes par mètre cube.

La densité des pavés de $0^m,12$ en bois de pin, pitchpin ou de teck varie de $0^m,400$ à $0^m,780$. Nous avons majoré ces chiffres de près de 200 kilogrammes pour tenir compte de l'humidité des joints en ciment, des graviers qui sont incorporés à la chaussée et pour tenir compte aussi de la substitution éventuelle, bien qu'improbable, d'une essence plus lourde que celle des bois résineux. La densité de la couche élastique, qui comprendra environ $0^m,01$ de mortier de ciment et $0^m,04$ d'asphalte, a été prise égale à 2.300 kilogrammes par mètre cube.

Pour le platelage, on a supposé que l'épaisseur de $0^m,01$ de la *tôle* était augmentée du poids des fers à ⊔ de renforcement également réparti.

Pour les trottoirs, la charge permanente comprend, indépendamment de la tôle et des zorès, une couche d'asphalte de $0^m,015$, dont le poids spécifique est de 2.450 kilogrammes et une couche de $0^m,06$ de béton de 2.300 kilogrammes au mètre cube.

RÉSUMÉ DES BASES DES CALCULS.

Poids du tablier sous chaussées.

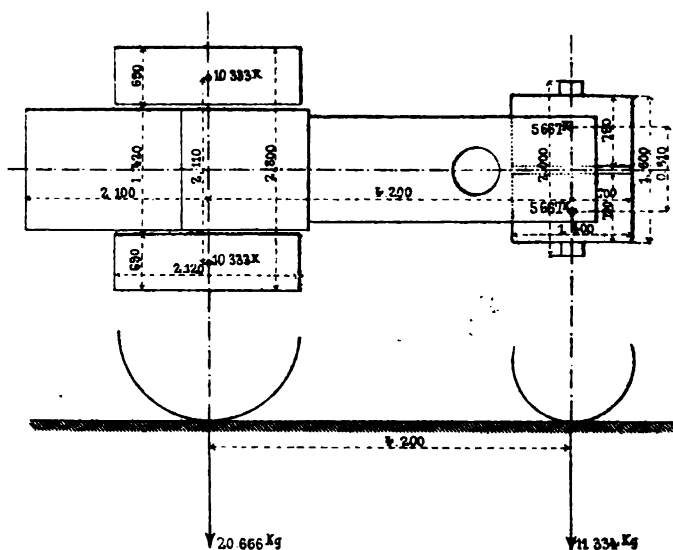
Chaussée en bois	Épaisseur	$0^m,12$
	Poids du mètre cube	$950^k,00$
	Poids du mètre carré	$114^k,00$

Intermédiaire élastique	Couche d'asphalte et mortier de ciment épaisseur moyenne........	0m,05
	Poids du mètre cube..............	2.300k,00
	Poids du mètre carré.............	115k,00
Platelage en tôle de 0m,01 d'épaisseur renforcé	Poids du mètre cube..............	7.800k,00
	Poids du mètre carré de tôle 78k »	
	Renforts en ⊔, 0m,82 à 5k,15 par mètre carré... 12k,7	100k,00
	10 0/0 pour rivets et couvre-joints.................. 9k,3	

Poids du mètre carré du tablier: (114 + 115 + 100) = 329, *soit* 330k,00

Surcharge d'épreuve réglementaire: par mètre carré.... 400k,00

Rouleau compresseur N° 1 de la Ville de Paris.



Poids du tablier sous trottoirs.

Asphalte	Épaisseur........................	0m,015
	Poids du mètre cube..............	2.450k,00
	Poids du mètre carré.............	37k,00

Béton	Épaisseur		$0^m,06$
	Poids du mètre cube		$2.300^k,00$
	Poids du mètre carré		$138^k,00$
Tôle de $0^m,008$ d'épaisseur	Poids du mètre carré	$62^k,4$	$108^k,00$
	Zorès 1,94 à $18^k,5$ par mètre carré	36^k »	
	A compter pour rivets, etc.	$9^k,6$	

Poids du mètre carré de tablier sous trottoirs :

(37 + 138 + 108) = ... $283^k,00$

TABLEAU I. — *Calcul de*

NUMÉROS des SECTIONS	DISTANCES (x)	POIDS de L'ARC	POIDS du TYMPAN — Montants et contreventements, longerons, entretoises sous chaussée	POIDS du TABLIER — Platelage, asphalte, pavage en bois	POIDS TOTAUX — Charge permanente seule P.	MOMENTS des POIDS P. X.	SURCHARGE P'	PRODUCT[ION] de la SURCHAR[GE] par les distance[s]
0 (Retombée)	0m	0	0	0	0	0	0	»
1	1,200	3.060	3.390k	2.820k	9.270k	11.124	3.470k	4.
2	4,825	4.090	3.360	3.400	10.850	52.351	4.140	19.
3	8,450	4.300	3.190	3.400	10.890	92.021	4.140	34.
4	12,075	4.490	3.040	3.400	10.930	131.980	4.140	49.
5	15,700	4.630	2.910	3.400	10.940	171.758	4.140	64.
6	19,325	4.700	2.640	3 400	10.740	207.551	4.140	80.
7	22,950	4.710	2.510	3.400	10.620	243.729	4.140	95.
8	26,575	4.740	2.360	3.400	10.500	279.038	4.140	110.
9	30,200	4.700	2.030	3.400	10.130	305.926	4.140	125.
10	33,825	4.610	2.030	3.400	10.040	339.603	4.140	140.
11	37,450	4.510	1.250	3.400	9.160	343.042	4.140	155.
12	41,075	4.390	1.250	3.400	9.040	371.318	4.140	170.
13	44,700	4.280	1.250	3.400	8.930	399.171	4.140	185.
14	48,325	4.010	1.250	3.400	8.660	418.495	4.140	200.
15	51,950	5.650	1.250	3.380	10.280	534.046	4.140	215.
16 (Clef)	53,750	»	»	»	»	»	»	»
		66.870	33.710	50.400	150.980	3.901.153	61.430	1.649.

Poussée produite par la charge permanente seule : $Q_p = \frac{3.901.153}{6,28} = 621.203^k$.

…des ordonnées des courbes des pressions.

…	SOMMES des MOMENTS $\Sigma_{x_n}^{a} P (x - x_n)$	SOMMES des PRODUITS divisés par Qp $(6,28 - y_1)$	CHARGE PERMANENTE — Ordonnées de la courbe de poussée y_1	POIDS CUMULÉS (charge permanente et surcharge)	SOMMES des MOMENTS $\Sigma_{x_n}^{a} (P + P')(x - x_n)$	SOMMES des PRODUITS divisés par Qt $(6,28 - y_2)$	CHARGE TOTALE — Ordonnées de la courbe de poussée	ORDONNÉES de la COURBE moyenne $\frac{y_1 + y_2}{2}$
k …980	3.901.153	m 6,28	0	k 212.410	5.550.660	m 6,28	0	0
…710	3.719.977	5,9883	m 0,2917	199.670	5.295.768	5,9916	0,2884	m 0,2900
…860	3.206.278	5,1614	1,1186	184.680	4.571.964	5,1727	1,1073	1,1130
…970	2.734.911	4,3978	1,8822	169.650	3.902.499	4,4153	1,8647	1,8735
…040	2.297.020	3,6977	2,5823	154.580	3.287.518	3,7195	2,5605	2,5714
…100	1.901.750	3,0614	3,2186	139.500	2.727.166	3,0855	3,1945	3,2066
[illegible]	1.546.137	2,4889	3,7911	124.620	2.221.478	2,5134	3,7666	3,7789
…740	1.229.457	1,9792	4,3008	109.860	1.769.731	2,0023	4,2777	4,2893
…240	951.275	1,5313	4,7487	95.220	1.371.488	1,5517	4,7283	4,7385
…110	711.155	1,1448	5,1352	80.950	1.026.316	1,1612	5,1188	5,1270
…070	507.756	0,8174	5,4626	66.770	732.872	0,8292	5,4508	5,4567
…910	340.752	0,5485	5,7315	53.470	490.831	0,5553	5,7247	5,7281
…870	206.953	0.3331	5,9469	40.290	297.002	0,3360	5,9440	5,9455
…940	105.925	0,1705	6,1095	27.220	150.951	0,1708	6,1092	6,1094
…280	37.267	0,0600	6,2200	14.420	52.278	0,0591	6,2209	6,2205
»	»	»	6,28	»	»	»	6,28	6,28
»	»	»	6,28	»	»	»	6,28	6,28

…ussée produite par la charge totale : $Q_t = \frac{5.550.660}{6,28} = 883.863^{k}$.

TABLEAU

NUMÉROS des SECTIONS	x	ORDONNÉES de la COURBE MOYENNE des PRESSIONS $\frac{y_1 + y_2}{2}$	ORDONNÉES de L'INTRADOS	ORDONNÉES de L'EXTRADOS	HAUTEUR VERTICALE de L'ARC h	Log tg i tg $i = \frac{\Delta y}{\Delta x}$
0	0	0	m — 0,500	m + 0,5000	m 1,0000	»
Retombée 1	m 1,200	m 0,2900	— 0,240	0,8200	1,0600	$\bar{1}$,383.2168
2	4,825	1,1130	0,512	1,7140	1,2020	$\bar{1}$,356.0918
3	8,450	1,8735	1,214	2,5330	1,3190	$\bar{1}$,321.7912
4	12,075	2,5714	1,865	3,2778	1,4128	$\bar{1}$,284.4852
5	15,700	3,2066	2,466	3,9472	1,4812	$\bar{1}$,243.6025
6	19,325	3,7789	3,018	4,5398	1,5218	$\bar{1}$,198.3157
7	22,950	4,2893	3,520	5,0586	1,5386	$\bar{1}$,148.6027
8	26,575	4,7385	3,974	5,5030	1,5290	$\bar{1}$,093.1317
9	30,200	5,1270	4,378	5,8760	1,4980	$\bar{1}$,030.0[illegible]
10	33,825	5,4567	4,734	6,1794	1,4454	$\bar{2}$,958.81[illegible]
11	37,450	5,7281	5,041	6,4152	1,3742	$\bar{2}$,874.3012
12	41,075	5,9455	5,301	6,5780	1,2770	$\bar{2}$,777.9515
13	44,700	6,1094	5,512	6,6290	1,1170	$\bar{2}$,655.2710
14	48,325	6,2205	5,675	6,6620	0,9870	$\bar{2}$,523.8361
15	51,950	6,2800	5,790	6,6780	0,8880	$\bar{2}$,215.20[illegible]
16 Clef	53,750	6,2800	5,830	6,6800	0,8500	0

(1) Surface de la section théorique.

nstantes de l'arc.

log cos φ	SECTION DROITE $H = h \cos \varphi$	Ω	I	V	$\frac{I}{V}$	ORDONNÉES de la FIBRE NEUTRE y
»	»	»	»	»	»	»
35′ 9″ 6 ,987.6745	m 1,0303	0,109.265	0,018.373.864	m 0,5152	0,035.664	m 0,2900
47′ 28″ 6 ,989.0862	1,1722	0,116.360	0,024.825.067	0,5861	0,042.356	1,1130
50′ 54″ 3 ,990.6470	1,2909	0,122.295	0,031.118.385	0,6455	0,048.208	1,8735
53′ 51″ ,992.0969	1,3873	0,127.115	0,036.861.425	0,6937	0,053.137	2,5714
56′ 20″ ,993.4329	1,4590	0,130.700	0,041.514.744	0,7295	0,056.908	3,2066
58′ 17″ 7 ,994.6540	1,5032	0,132.910	0,044.550.116	0,7516	0,059.274	3,7789
0′ 52″ 4 ,995.7373	1,5236	0,133.930	0,045.994.714	0,7618	0,060.376	4,2893
3′ 50″ ,996.6910	1,5174	0,136.370	0,046.919.358	0,7587	0,061.842	4,7385
7′ 1″ 8 ,997.5201	1,4895	0,134.975	0,044.908.578	0,7448	0,060.300	5,1270
11′ 48″ 7 [illegible].2111	1,4395	0,132.475	0,041.436.104	0,7198	0,057.570	5,4567
16′ 54″ 1 [illegible].7862	1,3704	0,129.020	0,036.909.051	0,6852	0,053.866	5,7281
25′ 35″ 4 [illegible].2204	1,2749	0,124.245	0,031.157.725	0,6375	0,047.878	5,9395
35′ 19″ 7 ,999.5565	1,1160	0,121.800	0,024.210.914	0,5580	0,043.389	6,0705
54′ 48″ 1 ,999.7578	0,9865	0,115.325	0,018.183.622	0,4933	0,036.865	6,1685
56′ 25″ 3 ,999.9415	0,8879	0,110.395	0,014.245.831	0,4440	0,032.089	6,2340
»	0,8500	(1)0,11.0375 (2)0.17.2300	0,009.205.988	0,4250	0,021.659	6,2800

rface de la section réelle calculée près de l'articulation.

TABLEAU III. — *Calcul des moments de flexion* (X)

NUMÉROS DES SECTIONS	PREMIER CAS — CHARGE PERMANENTE SEULE		DEUXIÈME CAS — CHARGE TOTALE		TROISIÈME CAS — $\frac{1}{2}$ TRAVÉE SURCHARGÉE				QUATRIÈME CAS — $\frac{1}{2}$ TRAVÉE OPPOSÉE SURCHARGÉE			
	Distance de la fibre neutre à la courbe des pressions de la charge permanente Z	Moment de flexion dû à la charge permanente $Q_p Z$	Distance de la fibre neutre à la courbe des pressions de la charge totale Z'	Moment de flexion dû à la charge totale $Q_t Z'$	Ordonnées de la courbe des pressions de la surcharge de la $\frac{1}{2}$ travée $y=\frac{4f}{a^2}\frac{x}{2}\left(\frac{3a}{2}-x\right)$	Distance de la fibre neutre à la parabole Z_1	Moments dus à la charge de la $\frac{1}{2}$ travée $Q_1 Z_1$	Moments résultants $Q_p Z+Q_1 Z_1$	Ordonnées de la courbe des pressions de la charge de la $\frac{1}{2}$ travée opposée $y=\frac{f}{a}x$	Distance de la fibre neutre à la droite Z_2	Moments dus à la charge de la $\frac{1}{2}$ travée opposée $Q_1 Z_2$	Moments résultants $Q_p Z+Q_1 Z_2$
0 Retombée	0 m	0	0 m	0	0 m	0 m	0	0	0 m	0 m	0	0
1	+ 0,0017	+ 1.056	— 0,0017	— 1.503	0,4144	+ 0,1244	+ 16.337	+ 17.393	0,1402	— 0,1498	— 19.673	— 18.617
2	+ 0,0056	+ 3.479	— 0,0056	— 4.950	1,5900	+ 0,4770	+ 62.644	+ 66.123	0,5637	— 0,5493	— 73.140	— 69.661
3	+ 0,0087	+ 5.404	— 0,0087	— 7.690	2,6514	+ 0,7779	+ 102.162	+ 107.566	0,9873	— 0,8862	— 116.385	— 110.981
4	+ 0,0109	+ 6.771	— 0,0109	— 9.634	3,5985	+ 1,0271	+ 134.889	+ 141.660	1,4108	— 1,1606	— 152.422	— 145.651
5	+ 0,0120	+ 7.454	— 0,0120	— 10.606	4,4314	+ 1,2248	+ 160.853	+ 168.307	1,8343	— 1,3723	— 180.224	— 172.770
6	+ 0,0122	+ 7.579	— 0,0122	— 10.783	5,1501	+ 1,3712	+ 180.080	+ 187.659	2,2578	— 1,5211	— 199.766	— 192.187
7	+ 0,0115	+ 7.144	— 0,0115	— 10.164	5,7544	+ 1,4651	+ 192.412	+ 199.556	2,6814	— 1,6079	— 211.166	— 204.022
8	+ 0,0102	+ 6.336	— 0,0102	— 9.015	6,2445	+ 1,5060	+ 197.783	+ 204.119	3,1049	— 1,6336	— 214.541	— 208.205
9	+ 0,0082	+ 5.094	— 0,0082	— 7.248	6,6204	+ 1,4934	+ 196.128	+ 201.222	3,5284	— 1,5986	— 209.944	— 204.850
10	+ 0,0059	+ 3.685	— 0,0059	— 5.215	6,8820	+ 1,4253	+ 187.185	+ 190.850	3.9520	— 1,5047	— 197.612	— 193.047
11	+ 0,0034	+ 2.112	— 0,0034	— 3.005	7,0293	+ 1,3012	+ 170.887	+ 172.999	4,3755	— 1,3526	— 177.637	— 175.525
12	+ 0,0074	+ 4.597	+ 0,0045	+ 3.977	7,0624	+ 1,1229	+ 147.470	+ 152.067	4,7991	— 1,1404	— 149.767	— 145.172
13	+ 0,0390	+ 24.227	+ 0,0387	+ 34.205	6,9813	+ 0,9108	+ 119.615	+ 143.842	5,2226	— 0,8479	— 111.355	— 87.128
14	+ 0,051[illegible]	+ 31.992	+ 0,0524	+ 46.814	6,7850	+ 0,6174	+ 81.083	+ 113.075	5,6401	— 0,5224	— 68.607	— 30.615
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	— 0,1849	— 21.676	+ 6.997

NUMÉROS DES SECTIONS	PREMIER CAS — CHARGE PERMANENTE SEULE			DEUXIÈME CAS — CHARGE TOTALE			TROISIÈME CAS — SURCHARGE SUR LA $\frac{1}{2}$ TRAVÉE				QUATRIÈME CAS — SURCHARGE SUR LA $\frac{1}{2}$ TRAVÉE OPPOSÉE			
	$Q_p \cos\theta$	$\sin\theta \Sigma_x^a P$	F	$Q_t \cos\theta$	$\sin\theta \Sigma_x^a (P+P')$	F'	$Q_1 \cos\theta$	$\sin\theta\left(\Sigma_a^x P' - \frac{p'a}{4}\right)$	F_1	$F + F_1$	$Q_1 \cos\theta$	$\sin\theta \frac{pa'}{4}$	F_2	$F + F_2$
0 Retombée	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1	603.821	35.466	639.287	859.131	49.896	909.027	127.655	10.823	138.478	777.765	127.655	3.608	131.263	770.550
2	605.787	31.375	637.162	861.928	44.207	906.135	128.071	9.432	137.503	774.665	128.071	3.398	131.469	768.631
3	607.968	26.869	634.837	865.032	87.919	902.951	128.532	7.897	136.429	771.266	128.532	3.153	131.685	766.522
4	610.001	22.681	532.682	867.924	32.073	899.997	128.962	6.489	135.451	768.133	128.962	2.903	131.865	764.547
5	611.880	18.820	630.700	870.598	26.680	897.278	129.359	5.209	134.568	765.268	129.359	2.651	132.010	762.710
6	613.603	15.298	628.901	873.050	21.754	894.804	129.723	4.061	133.784	762.685	129.723	2.395	132.118	761.019
7	615.136	12.180	627.316	875.230	17.375	892.605	130.047	3.054	133.101	760.417	130.047	2.142	132.189	759.505
8	616.488	9.437	625.925	877.154	13.510	890.664	130.333	2.184	132.517	758.442	130.333	1.889	132.222	758.147
9	617.666	7.050	624.725	878.830	10.147	888.977	130.582	1.452	132.034	756.759	130.582	1.637	132.219	756.944
10	618.649	5.083	623.732	880.230	7.333	887.563	130.790	859	131.649	755.381	130.790	1.391	132.181	755.913
11	619.469	3.440	622.909	881.396	4.985	886.381	130.964	399	131.363	754.272	130.964	1.147	132.111	755.020
12	620.089	2.210	622.299	882.278	3.201	885.479	131.095	72	131.167	753.466	131.095	919	132.014	754.313
13	620.569	1.259	621.828	882.961	1.820	884.781	131.196	— 133	131.063	752.891	131.196	694	131.890	753.718
14	620.857	632	621.489	883.370	909	884.279	131.257	— 236	131.021	752.510	131.257	513	131.770	753.259
15	621.119	169	621.288	883.744	481	884.225	131.312	— 184	131.128	752.416	131.312	252	131.564	752.852
16 Clef	621.203	0	621.203	883.863	»	883.863	131.330	»	131.330	752.533	131.330	»	131.330	752.533

Tableau V. — *Calcul du travail du métal sous l*[illegible]

Numéros des sections	Premier cas — Charge permanente seule: 1er *terme* Effet de l'effort normal $\left(\frac{F}{\Omega}\right)$	2e *terme* Effet du moment de flexion $\left(\frac{XV}{I}\right)$	Travail de la membrure supérieure $-\frac{F}{\Omega}-\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure inférieure $-\frac{F}{\Omega}+\frac{XV}{I}$	Deuxième cas — Charge totale: 1er *terme* Effet de l'effort normal	2e *terme* Effet du moment de flexion	Travail de la membrure supérieure	Travail de la membrure inférieure [illegible]
	k	k	k	k	k	k	k	k
0 Retombée 1	5,851	+ 0,030	— 5,881	— 5,821	8,319	— 0,042	— 8,277	— [illegible]
2	5,476	+ 0,082	— 5,558	— 5,394	7,787	— 0,117	— 7,670	— [illegible]
3	5,191	+ 0,112	— 5,303	— 5,079	7,383	— 0,160	— 7,223	— [illegible]
4	4,977	+ 0,127	— 5,104	— 4,850	7,080	— 0,181	— 6,899	— [illegible]
5	4,826	+ 0,131	— 4,957	— 4,695	6,865	— 0,186	— 6,679	— [illegible]
6	4,732	+ 0,128	— 4,860	— 4,604	6,732	— 0,182	— 6,550	— [illegible]
7	4,684	+ 0,118	— 4,802	— 4,566	6,665	— 0,168	— 6,497	— [illegible]
8	4,590	+ 0,102	— 4,692	— 4,488	6,531	— 0,146	— 6,385	— [illegible]
9	4,628	+ 0,084	— 4,712	— 4,544	6,586	— 0,120	— 6,466	— [illegible]
10	4,708	+ 0,064	— 4,772	— 4,644	6,700	— 0,091	— 6,609	— [illegible]
11	4,828	+ 0,039	— 4,867	— 4,789	6,870	— 0,056	— 6,814	— [illegible]
12	5,009	+ 0,094	— 5,103	— 4,915	7,127	+ 0,081	— 7,208	— [illegible]
13	5,105	+ 0,558	— 5,663	— 4,547	7,264	+ 0,788	— 8,052	— [illegible]
14	5,389	+ 0,868	— 6,257	— 4,521	7,668	+ 1,256	— 8,924	— [illegible]
15	5,628	+ 0,896	— 6,524	— 4,732	8,009	+ 1,267	— 9,276	— [illegible]
16 Clef	5,628	0	— 5,628	— 5,628	8,007	0	— 8,007	— [illegible]
	3,605		— 3,605	— 3,605	5,130		— 5,130	— [illegible]

Nota. — Les chiffres soulignés se rapportent à la section réelle de l'arc calculée près de l'ar[illegible]

surcharges des épreuves réglementaires par poids mort.

TROISIÈME CAS TRAVÉE SURCHARGÉE			QUATRIÈME CAS DEMI-TRAVÉE POSÉE SURCHARGÉE				VALEURS MAXIMA ET MINIMA DU TRAVAIL			
2e terme Effet du moment de flexion	Travail de la membrure supérieure	Travail de la membrure inférieure	1er terme Effet de l'effort normal	2e terme Effet du moment de flexion	Travail de la membrure supérieure	Travail de la membrure inférieure	Membrure supérieure		Membrure inférieure	
							Maxima	Minima	Maxima	Minima
k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
+ 0,487	− 7,605	− 6,631	7,052	− 0,522	− 6,530	− 7,574	− 8,277	− 5,881	− 8,361	− 5,82[illegible]
+ [illegible]	− 8,219	− 5,097	6,606	− 1,645	− 4,961	− 8,251	− 8,219	− 4,961	− 8,251	− 5,097
+ 2,231	− 8,538	− 4,076	6,268	− 2,302	− 3,966	− 8,570	− 8,538	− 3,966	− 8,570	− 4,076
+ 2,666	− 8,709	− 3,377	6,015	− 2,741	− 3,274	− 8,756	− 8,709	− 3,274	− 8,756	− 3,377
+ 2,958	− 8,813	− 2,897	5,836	− 3,036	− 2,800	− 8,872	− 8,813	− 2,800	− 8,872	− 2,897
+ 3,166	− 8,905	− 2,573	5,726	− 3,242	− 2,484	− 8,968	− 8,905	− 2,484	− 8,968	− 2,573
+ 3,305	− 8,983	− 2,373	5,671	− 3,379	− 2,292	− 9,050	− 8,983	− 2,292	− 9,050	− 2,373
+ 3,301	− 8,863	− 2,261	5,559	− 3,367	− 2,192	− 8,926	− 8,863	− 2,192	− 8,926	− 2,261
+ 3,337	− 8,944	− 2,270	5,608	− 3,397	− 2,211	− 9,005	− 8,944	− 2,211	− 9,005	− 2,270
+ 3,315	− 9,017	− 2,387	5,706	− 3,369	− 2,337	− 9,075	− 9,017	− 2,337	− 9,075	− 2,387
+ 3,212	− 9,058	− 2,634	5,852	− 3,259	− 2,593	− 9,111	− 9,058	− 2,593	− 9,111	− 2,634
+ [illegible]	− 9,175	− 2,953	6,071	− 2,970	− 3,101	− 9,041	− 9,175	− 3,101	− 9,041	− 2,953
+ 3,315	− 9,496	− 2,866	6,188	− 2,008	− 4,180	− 8,19[illegible]	− 9,496	− 4,180	− 8,196	− 2,866
+ 1,067	− 9,592	− 3,458	6,532	− 0,993	− 5,539	− 7,525	− 9,592	− 5,539	− 7,525	− 3,458
+ 1,882	− 8,698	− 4,934	6,820	+ 0,218	− 7,038	− 6,602	− 9,276	− 6,524	− 6,602	− 4,934
0	− 6,818	− 6,818	6,818	0	− 6,818	− 6,818	− 8,007	− 5,628	− 8,007	− 5,628
	− 4,367	− 4,367	4,367		− 4,367	− 4,367	− 5,130	− 3,605	− 5,130	− 3,605

TABLEAU

NUMÉROS des sections	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	+ 12,130	+ 2,640	+ 1,340	+ 0,802	+ 0,524	+ 0,346	+ 0,222	+ 0,1[illegible]
2	+ 10,883	+ 10,883	+ 5,470	+ 3,334	+ 2,174	+ 1,432	+ 0,954	+ 0,6[illegible]
3	+ 9,699	+ 9,699	+ 9,699	+ 5,924	+ 3,884	+ 2,620	+ 1,752	+ 1,1[illegible]
4	+ 8,578	+ 8,578	+ 8,578	+ 8,578	+ 5,652	+ 3,842	+ 2,610	+ 1,7[illegible]
5	+ 7,519	+ 7,519	+ 7,519	+ 7,519	+ 7,519	+ 5,152	+ 3,540	+ 2,[illegible]
6	+ 6,523	+ 6,523	+ 6,523	+ 6,523	+ 6,523	+ 6,523	+ 4,524	+ 3,1[illegible]
7	+ 5,583	+ 5,583	+ 5,583	+ 5,583	+ 5,583	+ 5,583	+ 5,583	+ 3,[illegible]
8	+ 4,717	+ 4,717	+ 4,717	+ 4,717	+ 4,717	+ 4,717	+ 4,717	+ 4,7[illegible]
9	+ 3,905	+ 3,905	+ 3,905	+ 3,905	+ 3,905	+ 3,905	+ 3,905	+ 3,9[illegible]
10	+ 3,151	+ 3,151	+ 3,151	+ 3,151	+ 3,151	+ 3,151	+ 3,151	+ 3,1[illegible]
11	+ 2,436	+ 2,436	+ 2,436	+ 2,436	+ 2,436	+ 2,436	+ 2,436	+ 2,[illegible]
12	+ 1,821	+ 1,821	+ 1,821	+ 1,821	+ 1,821	+ 1,821	+ 1,821	+ 1,[illegible]
13	+ 1,267	+ 1,267	+ 1,267	+ 1,267	+ 1,267	+ 1,267	+ 1,267	+ 1,[illegible]
14	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,[illegible]
15	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,[illegible]
16 Clef	0	0	0	0	0	0	0	0

rs de Z.

XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	OBSERVATIONS
− 0,028	− 0,064	− 0,095	− 0,118	− 0,136	− 0,150	Valeurs mesurées sur l'épure (Pl. 43, 4ᵉ trimestre 1898).
− 0,056	− 0,204	− 0,324	− 0,424	− 0,510	− 0,549	
− 0,034	− 0,280	− 0,492	− 0,672	− 0,822	− 0,886	
+ 0,060	− 0,292	− 0,592	− 0,852	− 1,062	− 1,161	
+ 0,220	− 0,242	− 0,634	− 0,966	− 1,244	− 1,372	
+ 0,440	− 0,132	− 0,610	− 1,014	− 1,356	− 1,521	
+ 0,720	+ 0,040	− 0,526	− 1,010	− 1,414	− 1,608	
+ 1,056	+ 0,270	− 0,380	− 0,946	− 1,416	− 1,634	
+ 1,462	+ 0,566	− 0,182	− 0,822	− 1,354	− 1,599	
+ 1,926	+ 0,924	+ 0,086	− 0,624	− 1,224	− 1,505	
+ 2,436	+ 1,336	+ 0,404	− 0,382	− 1,044	− 1,353	
+ 1,821	+ 1,821	+ 0,794	− 0,070	− 0,800	− 1,140	
+ 1,267	+ 1,267	+ 1,267	+ 0,313	− 0,479	− 0,848	
+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	+ 0,745	− 0,124	− 0,522	
+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	+ 0,256	− 0,164	
0	0	0	0	0	0	

TABLEAU VIII. — *Effet de la surcharge disposée dans l'hypothèse la plus dé*

NUMÉROS DES SECTIONS	SOMME des moments négatifs ou positifs	EFFORT NORMAL						
		ΣQ	$\Sigma \frac{P'x}{2a}$	$\Sigma_x^a P'$	$\cos \theta \Sigma Q$	$\sin \theta \left(\frac{pa'}{4} + \Sigma_x^a P' - \Sigma \frac{P'x}{2a}\right)$ ou $\left(\Sigma_x^a P' - \Sigma \frac{P'x}{2a}\right)$	F	$\frac{F}{\Omega}$
								Premi
								Maximum
								k
1	23.225	179.516	7.536	18.125	174.493	5.644	180.137	1,649
2	83.904	179.516	7.536	18.125	175.061	5.320	180.381	1,550
3	133.630	179.516	7.536	18.125	175.691	4.933	180.624	1,477
4	172.433	168.707	6.273	14.500	165.665	4.096	169.761	1,336
5	200.968	168.707	6.273	14.500	166.175	3.739	169.914	1,300
6	21[illegible].839	168.707	6.273	14.500	166.643	3.379	170.022	1,279
7	227.010	156.852	4.888	10.875	155.320	2.708	158.028	1,180
8	227.254	156.852	4.888	10.875	155.662	2.389	158.051	1,150
9	218.015	156.852	4.888	10.875	155.959	2.070	158.029	1,171
10	200.146	143.951	3.381	7.250	143.359	1.568	144.927	1,094
11	176.591	143.951	3.381	7.250	143.549	1.292	144.841	1,123
12	144.082	143.951	3.381	7.250	143.693	1.036	144.729	1,165
13	104.710	130 004	1.752	3.625	129.872	692	130.564	1,072
14	61.894	130.004	1.752	3.625	129.932	511	130.443	1,131
15	18.862	115.010	»	»	114.994	221	115.215	1,044
16 Clef	0	114.991	»	»	»	»	114.991	1,042
								Deuxièm
								Maximum
								k
1	20.906	50.485	5.899	35.638	49.072	6.986	56.058	0,513
2	76.169	50.485	5.899	32.625	49.232	5.917	55.149	0,474
3	121.421	50.485	5.899	29.000	49.409	4.743	54.152	0,443
4	157.284	61.294	7.162	29.000	60.189	4.129	64.318	0,506
5	184.688	61.294	7.162	25.375	60.374	3.144	63.518	0,486
6	202.453	61.294	7.162	21.750	60.544	2.275	62.819	0,473
7	211.319	73.149	8.547	21.750	72.435	1.841	74.276	0,555
8	212.868	73.149	8.547	18.125	72.594	1.178	73.172	0,541
9	206.332	73.149	8.547	14.500	72.732	634	73.366	0,544
10	191.957	86.050	10.054	14.500	85.696	403	86.099	0,650
11	170.367	86.050	10 054	10.875	85.810	61	85.871	0,666
12	143.807	86.050	10.054	7.250	85.896	— 168	85.728	0,690
13	113.390	99.997	11.683	7.250	99.895	— 200	99.695	0,819
14	74.499	99.997	11.683	3.625	99.941	— 269	99.672	0,864
15	29.443	114.991	13.435	3.625	114.976	— 161	114.815	1,040
16 Clef	»	114.991	»	»	114.991	»	114.991	1,042

…ble ; poussée ; effort normal ; moment de flexion et travail du métal.

TRAVAIL de la membrure supérieure $-\frac{F}{\Omega}-\frac{XV}{I}$	TRAVAIL de la membrure inférieure $-\frac{F}{\Omega}+\frac{XV}{I}$	SURCHARGE DE 400 KILOGRAMMES PAR MÈTRE CARRÉ COEFFICIENT 1.143		CHARGE PERMANENTE (TABLEAU 5)		EFFET TOTAL	
		Membrure supérieure	Membrure inférieure	Membrure supérieure	Membrure inférieure	Membrure supérieure	Membrure inférieure
…atifs.							
k	k	k	k	k	k	k	k
— 0,998	— 2,647	— 1,141	— 3,026	— 5,881	— 5,821	— 7,022	— 8,847
+ 0,431	— 3,531	+ 0,493	— 4,006	— 5,558	— 5,394	— 5,065	— 9,400
+ 1,295	— 4,249	+ 1,480	— 4,857	— 5,303	— 5,079	— 3,823	— 9,936
+ 1,909	— 4,581	+ 2,182	— 5,236	— 5,104	— 4,850	— 2,922	— 10,086
+ 2,231	— 4,831	+ 2,550	— 5,522	— 4,957	— 4,695	— 2,407	— 10,217
+ 2,413	— 4,971	+ 2,758	— 5,682	— 4,860	— 4,604	— 2,102	— 10,286
+ 2,580	— 4,940	+ 2,949	— 5,646	— 4,802	— 4,566	— 1,853	— 10,212
+ 2,516	— 4,834	+ 2,876	— 5,525	— 4,692	— 4,448	— 1,816	— 10,013
+ 2,445	— 4,787	+ 2,795	— 5,472	— 4,712	— 4,544	— 1,917	— 10,016
+ 2,383	— 4,571	+ 2,724	— 5,225	— 4,772	— 4,644	— 2,048	— 9,869
+ 2,155	— 4,401	+ 2,463	— 5,030	— 4,867	— 4,789	— 2,404	— 9,819
+ 1,783	— 4,113	+ 2,038	— 4,701	— 5,103	— 4,915	— 3,065	— 9,616
+ 1,341	— 3,485	+ 1,153	— 3,983	— 5,663	— 4,547	— 4,130	— 8,530
+ 0,548	— 2,810	+ 0,626	— 3,212	— 6,257	— 4,521	— 5,631	— 7,733
— 0,456	— 1,632	— 0,521	— 1,865	— 6,518	— 4,738	— 7,039	— 6,603
— 1,042	— 1,042	— 1,190	— 1,190	— 5,628	— 5,628	— 6,818	— 6,818
…ifs.							
k	k	k	k	k	k	k	k
— 1,099	+ 0,073	— 1,256	+ 0,083	— 5,881	— 5,821	— 7,137	— 5,738
— 2,272	+ 1,324	— 2,597	+ 1,513	— 5,558	— 5,394	— 8,155	— 3,881
— 2,962	+ 2,076	— 3,386	+ 2,373	— 5,303	— 5,079	— 8,689	— 2,706
— 3,466	+ 2,454	— 3,962	+ 2,805	— 5,104	— 4,850	— 9,066	— 2,045
— 3,731	+ 2,759	— 4,265	+ 3,154	— 4,957	— 4,695	— 9,222	— 1,541
— 3,889	+ 2,943	— 4,445	+ 3,364	— 4,860	— 4,604	— 9,305	— 1,240
— 4,055	+ 2,945	— 4,635	+ 3,366	— 4,802	— 4,566	— 9,437	— 1,200
— 3,983	+ 2,901	— 4,553	+ 3,316	— 4,692	— 4,488	— 9,245	— 1,172
— 3,966	+ 2,878	— 4,533	+ 3,280	— 4,712	— 4,544	— 9,245	— 1,264
— 3,984	+ 2,684	— 4,554	+ 3,068	— 4,772	— 4,644	— 9,326	— 1,576
— 3,829	+ 2,497	— 4,377	+ 2,854	— 4,867	— 4,789	— 9,244	— 1,935
— 3,632	+ 2,252	— 4,151	+ 2,574	— 5,103	— 4,915	— 9,254	— 2,341
— 3,432	+ 1,794	— 3,923	+ 2,051	— 5,663	— 4,547	— 9,586	— 2,496
— 2,885	+ 1,157	— 3,298	+ 1,322	— 6,257	— 4,521	— 9,555	— 3,199
— 1,958	— 0,122	— 2,238	— 0,139	— 6,524	— 4,732	— 8,762	— 4,871
— 1,042	— 1,042	— 1,190	— 1,190	— 5,628	— 5,628	— 6,818	— 6,818

TABLEAU IX. — *Constantes employé*

NUMÉROS des SECTIONS	DISTANCES x	Δs $\frac{\Delta x}{\cos \theta}$	Ω	I	m ou ds	m lgt
0 Retombée	0	»	»	»	»	»
1	m 1,200	m 1,2345	0,109.265	0,018.373.864	3,0931	0,747.50
2	4,825	3,7172	0,116.360	0,024.825.067	3,710.55	0,842.42
3	8,450	3,7039	0,122.295	0,031.118.385	3,697.75	0,775.76
4	12,075	3,6916	0,127.115	0,036.861.425	3,685.9	0,709.62
5	15,700	3,6802	0,130.700	0,041.514.744	3.675.05	0,643.97
6	19,325	3,6699	0,132.910	0,044.550.116	3,665.35	0,578.67
7	22,950	3,6608	0,133.930	0,045.994.714	3,656.75	0,514.87
8	26,575	3,6527	0,136.370	0,046.919.358	3,649.25	0,452.90
9	30,200	3,6458	0,134.975	0,044.908.578	3,642.9	0,390.42
10	33,825	3,6400	0,132.475	0,041.436.104	3,637.55	0,330.84
11	37,450	3,6351	0,129.020	0,036.909.051	3,633.3	0,272.02
12	41,075	3,6315	0,126.808	0,027.576.203	3,630.1	0,217.71
13	44,700	3,6287	0,126.425	0,020.688.619	3,627.85	0,164.03
14	48,325	3,6270	0,117.200	0,014.525.599	3.626.25	0,121.14
15	51,950	3,6255	0,112.270	0,011.018.964	3,612.75	0,059.29
16 clé	53,750	1,8000	0,110.375	0,109.815.197	»	»

le calcul des déformations.

… / 100000 Ω	$\frac{m \operatorname{tg} \theta}{100000\,\Omega}$	Log $\frac{m}{100000\,I}$	Log $\frac{mx}{100000\,I}$	Log $\frac{my}{100000\,I}$	$\frac{Q}{P} = \frac{x}{2f}$
»	»	»	»	»	»
000.283.082	0,000.068.411	$\bar{3}$,226.1985	$\bar{3}$,305.3747	$\bar{4}$,688.5915	0,095.54
000.318.885	0,000.072.398	$\bar{3}$,174.5478	$\bar{3}$,858.0451	$\bar{3}$,221.0430	0,384.16
000.302.363	0.000.063.433	$\bar{3}$,074.9205	$\bar{2}$,001.772	$\bar{3}$.347.5742	0,672.77
000.289.966	0,000.055.825	$\bar{4}$,999.9714	$\bar{2}$,081.8585	$\bar{3}$,410.1410	0,961.39
000.281.182	0,000.049.271	$\bar{4}$,947.0610	$\bar{2}$,142.9607	$\bar{3}$,453.1058	1,25
000.275.777	0,000.043.539	$\bar{4}$,915.2667	$\bar{2}$,201.3362	$\bar{3}$,492.6321	1,538.61
000.273.034	0,000.038.443	$\bar{4}$,900.3274	$\bar{2}$,261.1701	$\bar{3}$,532.7738	1,827.23
000.267.599	0,000.033.160	$\bar{4}$,890.8517	$\bar{2}$,315.3250	$\bar{3}$,566.4926	2,115.84
000.269.894	0,000.028.925	$\bar{4}$,909.1180	$\bar{2}$,389.1249	$\bar{3}$.618.9813	2,404.46
000.274.584	0,000.024.974	$\bar{4}$,943.4301	$\bar{2}$,472.6679	$\bar{3}$,680.3602	2,693.07
000.281.607	0,000.021.083	$\bar{4}$,993.1684	$\bar{2}$,568.6202	$\bar{3}$,751.1790	2.981.69
000 286.367	0,000.017.168	$\bar{3}$,119.3842	$\bar{2}$,732.9618	$\bar{3}$,892.5268	3,270.30
000.296.957	0,000.012.974	$\bar{3}$,243.9178	$\bar{2}$,894.2253	$\bar{2}$,023.6563	3,558.92
000 319.407	0,000.010.336	$\bar{3}$,397.3238	$\bar{1}$,081.4957	$\bar{2}$,188.6354	3,847.53
000.321.791	0,000.032.818	$\bar{3}$,515.6971	$\bar{1}$,231.2827	$\bar{2}$,311.1669	4,136.14
»	»	»	»	»	»

TABLEAU [illegible]

NUMÉROS des SECTIONS	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0,020.420	0,004.444	0,002.256	0,001.350	0,000.882	0,000.582	0,000.3[illegible]
2	0,016.267	0,016.267	0,008.176	0,004.983	0,003.249	0,002.170	0,001.[illegible]
3	0,011.525	0,011.525	0,011.525	0,007.039	0,004.615	0,003.113	0,002.[illegible]
4	0,008.577	0,008.577	0,008.577	0,008.577	0,005.652	0,003.842	0,002.[illegible]
5	0,006.656	0,006.656	0,006.656	0,006.656	0,006.656	0,004.561	0,003.[illegible]
6	0,005.367	0,005.367	0,005.367	0,005.367	0,005.367	0,005.367	0,004.6[illegible]
7	0,004.439	0,004.439	0,004.439	0,004.439	0,004.439	0,004.439	0,004.[illegible]
8	0,003.669	0,003.669	0,003.669	0,003.669	0,003.669	0,003.669	0,003.[illegible]
$\Sigma_1^8 \frac{mz}{100.000\ I}$	0,076.920	0,060.944	0,050.665	0,042.080	0,345.29	0,027.743	0,0[illegible]
9	0,003.168	0,003.168	0,003.168	0,003.168	0,003.168	0,003.168	0,003.1[illegible]
10	0,002.766	0,002.766	0,002.766	0,002.766	0,002.766	0,002.766	0,002.7[illegible]
11	0,002.418	0,002.418	0,002.418	0,002.418	0,002.418	0,002.418	0,002.[illegible]
12	0,002.409	0,002.409	0,002.409	0,002.409	0,002.409	0,002.409	0,002.[illegible]
13	0,002.185	0,002.185	0,002.185	0,002.185	0,002.185	0,002.185	0,002.[illegible]
14	0,001.820	0,001.820	0,001.820	0,001.820	0,001.820	0,001.820	0,001.[illegible]
15	0,000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.[illegible]
16 Clef							
$\Sigma_1^{15} \frac{mz}{100.000\ I}$	0,092.493	0,076.517	0,066.238	0,057.653	0,050.102	0,043.316	0,0[illegible]

de $\frac{mz}{100.000I}$.

X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
,000.025	— 0,000.047	— 0,000.108	— 0,000.160	— 0,000.199	— 0,000.229	— 0,000.253
,000.164	— 0,000.084	— 0,000.305	— 0,000.484	— 0,000.634	— 0,000.762	— 0,000.821
,000.321	— 0,000.040	— 0,000.333	— 0,000.585	— 0,000.799	— 0,000.977	— 0,001.053
,000.494	0,000.060	— 0,000.292	— 0,000.592	— 0,000.852	— 0,001.062	— 0,001.161
,000.694	0,000.195	— 0,000.214	— 0,000.561	— 0,000.855	— 0,001.101	— 0,001.215
,000.930	0,000.362	— 0,000.109	— 0,000.502	— 0,000.834	— 0,001.116	— 0,001.251
,001.226	0,000.572	0,000.0[illegible]2	— 0,000.418	— 0,000.803	— 0,001.124	— 0,001.278
,001.556	0,000.821	0,000.210	— 0,000.296	— 0,000.736	— 0,001.101	— 0,001.271
.005.410	0,001.839	— 0,001.119	— 0,003.598	— 0,005.712	— 0,007.472	— 0,008.303
,002.060	0,001.186	0,000.459	— 0,000.148	— 0,000.667	— 0,001.098	— 0,001.297
,002.766	0,001.691	0,000.811	0,000.075	— 0,000.548	— 0,001.075	— 0,001.321
002.418	0,002.418	0,001.315	0,000.398	— 0,000.376	— 0,001.028	— 0,001.332
002.409	0.902.409	0,002.409	0,001.056	— 0,000.082	— 0,001.043	— 0,001.490
002.185	0,002.185	0,002.185	0,002.185	0,000.512	— 0,000.877	— 0,001.524
001.820	0,00!.820	0,001.820	0,001.820	0,001.820	— 0,000.350	— 0,001.346
000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.807	0,000.807	— 0,000.570
019.875	0,014.355	0,008.687	0,002.595	— 0,004.246	— 0,012.136	— 0,017.183

Tableau

NUMÉROS des SECTIONS	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0,024.504	0,005.333	0.002.707	0,001.620	0.001.058	0,000.699	0,000.[illegible]
2	0,078.486	0,078.486	0,039.449	0,024.044	0.015.678	0,010.472	0,006.[illegible]
3	0,097.388	0,097.388	0.097.388	0,059.483	0.038.999	0,026.307	0,017.[illegible]
4	0,103.573	0,103.573	0,103.573	0,103.573	0,068.244	0,046.389	0,031.[illegible]
5	0,104.501	0,104.501	0,104.501	0,104.501	0,104.501	0,071.604	0,049.[illegible]
6	0,103.713	0,103.713	0,103.713	0,103.713	0,103.713	0,103.713	0,071.[illegible]
7	0,101.868	0,101.868	0,101.868	0,101.868	0.101.868	0,101.868	0,101.[illegible]
8	0,097.497	0,097.497	0,097.497	0,097.497	0,097.497	0,097.497	0,097.[illegible]
$\Sigma_1^8 \frac{mrz}{100.000\,I}$	0,711.530	0,692.359	0,650.696	0,596.299	0,531.558	0,458.549	0.376.[illegible]
9	0,095.664	0,095.664	0,095.664	0.095.664	0,095.664	0,095.664	0.095.[illegible]
10	0,093.566	0,093.566	0,093.566	0,093.566	0,093.566	0,093.566	0,093.[illegible]
11	0.090.541	0,090.541	0,090.541	0,090.541	0,090.541	0,090.541	0,0[illegible]
12	0,098.949	0,098.949	0,098.949	0,098.949	0,098.949	0,098.949	0,0[illegible]
13	0,097.666	0,097.666	0,097.666	0,097.666	0,097.666	0,097.666	0,097.[illegible]
14	0,087.947	0,087.947	0,087.947	0,087.947	0,087.947	0,087.947	0,087.[illegible]
15	0,041.900	0,041.900	0,041.900	0,041.900	0,041.600	0,041.900	0,041.[illegible]
16							
$\Sigma_1^{15} \frac{mrz}{100.000\,I}$	1,317.763	1,298.592	1,202.929	1,202.532	1,137.791	1,064.782	0,983.[illegible]

aleurs de $\frac{mxz}{100.000 I}$.

	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
.154	0,000.030	— 0,000.057	— 0,000.129	— 0,000.192	— 0,000.238	— 0,000.275	— 0,000.303
.394	0,000.793	— 0.000.404	— 0,001.471	— 0,002.283	— 0,003.058	— 0,003.678	— 0,003.959
.547	0.002.711	— 0,000.341	— 0,002.812	— 0,004.940	— 0,006.748	— 0,008.254	— 0,008.896
.509	0,005.965	0,000.724	— 0,003.526	— 0,007.148	— 0,010.287	— 0,012.460	— 0,014.018
.680	0,010.896	0,003.058	— 0,003.363	— 0,008.112	— 0,013.426	— 0,017.290	— 0,019.068
.672	0,017.966	0,006.996	— 0,002.099	— 0.009.699	— 0,016.122	— 0,021.560	— 0,024.183
.746	0,028.135	0,013.137	0,000.730	— 0,009.598	— 0,018.429	— 0,025.800	— 0,029.340
.811	0,041.339	0,021.826	0,005.581	— 0,007.854	— 0,019.553	— 0,029.267	— 0,033.774
.513	0,107.835	0.044.939	— 0,007.089	— 0,049.826	— 0,087.861	— 0,118.584	— 0,133.541
.666	0,062.224	0,035.816	0,013.866	— 0,004.459	— 0,020.137	— 0,033.170	— 0,039.172
.566	0,093.566	0,057.191	0,027.437	0,002.554	— 0,018.529	— 0,036.345	— 0,044.659
.541	0,090.541	0,090.541	0,049.252	0,014.894	— 0,014.083	— 0,038.488	— 0,049.879
[illegible]	0,098.949	0,098.949	0,098.949	0,043.365	— 0,003.352	— 0.042.824	— 0.061.208
[illegible]	0,097.666	0,097.666	0,097.666	0,097.666	0,022.888	— 0,039.192	— 0,068.116
.947	0,087.947	0,087.947	0,087.947	0,087.947	0,087.947	— 0,016.890	— 0,065.026
.900	0,041.900	0,041.900	0,041.900	0,041.900	0,041.900	0,041.900	— 0,029.637
.745	0,680.628	0,554.949	0,409.928	0,234.041	0,008.773	— 0,283.593	— 0,491.268

Tablea

NUMÉROS des SECTIONS	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0,005.922	0,001.289	0,000.654	0,000.392	0,000.256	0,000.169	0,000.
2	0,018.105	0,018.105	0,009.100	0,005.546	0,003.617	0,002.416	0,001.
3	0,021.592	0,021.592	0,021.592	0,013.188	0,008.647	0,005.833	0,003.
4	0,022.056	0,022.056	0,022.056	0,022.056	0,014.533	0,009.879	0,006.
5	0,021.344	0,821.344	0,021.344	0,021.344	0,021.344	0,014.625	0,010.
6	0,020.281	0,020.281	0,020.281	0,020.231	0,020.281	0,020.281	0,014.
7	0,019.039	0,019.039	0,019.039	0,019.039	0,019.039	0,019.039	0,019.
8	0,017.384	0,017.384	0,017.384	0,017.384	0,017.384	0,017.384	0,017.
$\Sigma_1^8 \frac{myz}{100.000\,I}$	0,145.723	0,141.090	0,131.450	0,119.230	0,105.101	0,089.626	0,072.
9	0,016.241	0,016.241	0,016.241	0,016.241	0,016.241	0,016.241	0,016.
10	0,015.094	0,015.094	0,015.094	0,015.094	0,015.094	0,015.094	0,015.
11	0,013.849	0,013.849	0,013.849	0,013.849	0,013.849	0,013.849	0,013.
12	0,014.288	0,014.288	0,014.288	0,014.288	0,014.288	9,014.288	0,014.
13	0,013.310	0,013.310	0,013.310	0,013.310	0,013.310	0,013.310	0,013.
14	0,011.256	0,011.256	0,011.256	0,011.256	0,011.256	0,011.256	0,011.
15	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.
16 Clef							
$\Sigma_1^{15} \frac{myz}{100.000\,I}$	0,234.797	0,230.164	0,220.524	0,208.304	0,194.175	0,178.700	0,161.

…leurs de $\frac{myz}{100.000 I}$.

…	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
…00.037	0,000.007	— 0,000.014	— 0,000.031	— 0,000.046	— 0,000.058	— 0,000.066	— 0,000.073
…00.552	0,000.18[illegible]	— 0,000.093	— 0,000.339	— 0,000.539	— 0,000.705	— 0,000.848	— 0,000.91[illegible]
…01.452	0,000.601	— 0,000.076	— 0,000.623	— 0,001.095	— 0,001.496	— 0,001.830	— 0,001.973
…02.664	0,001.270	0,000.154	— 0,000.751	— 0,001.522	— 0,002.191	— 0,002.731	— 0,002.985
…04.224	0,002.226	0,000.624	— 0,000.687	— 0,001.800	— 0,002.742	— 0,003.531	— 0,003.895
…06.193	0,003.513	0,001.368	— 0,000.410	— 0,001.897	— 0,003.153	— 0,004.216	— 0,004.729
…08.737	0,005.258	0,002.455	0,000.136	— 0,001.794	— 0,003.444	— 0,004.822	— 0,005.484
…11.735	0,007.371	0,003.892	0,000.995	— 0,001.401	— 0,003.487	— 0,005.219	— 0,006.022
…35.594	0,020.429	0,008.310	— 0,001.710	— 0,010.094	— 0,017.276	— 0,023.263	— 0,026.074
…16.241	0,010.564	0,006.080	0,002.354	— 0,000.757	— 0,003.419	— 0,005.631	— 0,006.650
…15.094	0,015.094	0,009.226	0,004.426	0,000.412	— 0,002.989	— 0,005.863	— 0,007.209
…13.849	0,013.849	0,013.849	0,007.533	0,002.278	— 0,002.154	— 0,005.887	— 0,007.629
…14.288	0,014.288	0,014.288	0,014.288	0,006.262	0,000.484	— 0,006.184	— 0,008.838
…13.310	0,013.310	0,013.310	0,013.310	0,013.310	0,003.199	— 0,005.341	— 0,009.283
…11.256	0,011.256	0,011.256	0,011.256	0,011.256	0,011.256	— 0,002.162	— 0,008.522
…05.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	0,005.036	— 0,003.32[illegible]
…24.668	0,103.826	0,081.355	0,056.493	0,027.703	— 0,006.831	— 0,049.295	— 0,077.327

TABLEAU XV. — *Calcul des déplacements*

NUMÉROS des SECTIONS	EFFET DE LA SURCHA							
	Coefficient	Ordonnées de la courbe 1	Déplacement	Ordonnées de la courbe 2	Déplacement	Ordonnées de la courbe 3	Déplacement	Ordonnées de la courbe 9 partie au delà de la clef
I ou I'......	0,0217	0,0048	0,00010	0,0215	0,00047	0,0075	0,00016	— 0,0[illegible]
II ou II'.....	0,0259	0,0190	0,00049	0,0824	0,00213	0,0295	0,00076	— 0,0[illegible]
III ou III'...	0,0259	0,0317	0,00082	0,1305	0,00338	0,0490	0,00127	— 0,0[illegible]
IV ou IV'...	0,0259	0,0424	0,00110	0,1622	0,00420	0,0652	0,00169	— 0,0[illegible]
V ou V'.....	0,0259	0,0511	0,00132	0,1756	0,00455	0,0778	0,00202	— 0,0[illegible]
VI ou VI'...	0,0259	0,0575	0,00149	0,1702	0,00441	0,0865	0,00224	— 0,0[illegible]
VII ou VII'..	0,0259	0,0616	0,00160	0,1451	0,00376	0,0910	0,00236	— 0,0[illegible]
VIII ou VIII'	0,0259	0,0636	0,00165	0,1010	0,00262	0,0914	0,00237	— 0,0[illegible]
IX ou IX'...	0,0259	0,0630	0,00163	0,0355	0,00092	0,0865	0,00224	— 0,0[illegible]
X ou X'.....	0,0259	0,0600	0,00155	— 0,0491	— 0,00127	0,0772	0,00200	— 0,0[illegible]
XI ou XI'...	0,0259	0,0548	0,00142	— 0,1557	— 0,00403	0,0643	0,00167	— 0,0[illegible]
XII ou XII'..	0,0259	0,0471	0,00122	— 0,2825	— 0,00732	0,0478	0,00124	— 0,0[illegible]
XIII ou XIII'	0,0259	0,0365	0,00095	— 0,4342	— 0,01124	0,0279	0,00072	— 0,[illegible]
XIV ou XIV'.	0,0259	0,0235	0,00061	— 0,6062	— 0,01570	0,0045	0.00012	— 0,0[illegible]
XV ou XV'..	0,0259	0,0079	0,00020	— 0,8007	— 0,02074	— 0,0199	— 0,00052	— 0,0[illegible]
TOTAUX		S_1	0,01615	S_2	— 0,03386	S_3	0,02034	

DÉPLACEMENTS	SURCHARGE PAR POIDS MORT sur tout le pont		SURCHARGE PAR sur 1/2
Clef Δx........	0	0	S_1 = + [illegible]
— Δy........	$2 \times S_2 = -\ 2 \times 0{,}03386 = -0{,}6772$		S_2 = — [illegible]
Section (S-9) Δx.	$S_3 + S'_3 = +0{,}02034 -\ 0{,}01918 = +0{,}00116$		S_3 = + [illegible]
— Δy.	$S_4 + S'_4 = -0{,}11616 +\ 0{,}08564 = -0{,}03052$		S_4 = — [illegible]

...rges d'épreuves et cambrure de construction.

				EFFET DE LA CHARGE PERMANENTE			RACCOURCISSEMENT DE L'ARC	
[illegible]	Déplacement	Ordonnées de la courbe 4 partie au-delà de la clé	Déplacement	Coefficient	Ordonnées de la courbe 2	Déplacement	$\frac{Fm}{E\Omega}$	$\frac{F'm}{E\Omega}$
[illegible]	− 0,00070	0,0234	0,00051	0,0579	0,0215	0,00124	0,00113	0,00161
[illegible]	− 0,00334	0,0920	0,00238	0,0678	0,0824	0,00559	0,00127	0,00181
[illegible]	− 0,00569	0,1537	0,00398	0,0681	0,1305	0,00889	0,00120	0,00170
...21	− 0,00782	0,2069	0,00536	0,0683	0,1622	0,01135	0,00115	0,00163
...33	− 0,00967	0,2503	0,00648	0,0684	0,1756	0,01201	0,00111	0,00158
[illegible]	− 0,01116	0,2838	0,00735	0,0686	0,1702	0,01168	0,00110	0,00154
...14	− 0,01221	0,3069	0,00795	0,0664	0,1451	0,00963	0,00107	0,00152
...21	− 0,01274	0,3200	0,00829	0,0656	0,1010	0,00663	0,00105	0,00149
[illegible]	− 0,01260	0,3218	0,00833	0,0633	0,0355	0,00225	0,00105	0,00150
...45	− 0,01177	0,3129	0,00810	0,0627	− 0,0491	− 0,00308	0,00107	0,00153
...21	− 0,01041	0,2936	0,00760	0,0573	− 0,1557	− 0,00892	0,00110	0,00156
[illegible]	− 0,00852	0,2630	0,00681	0,0565	− 0,2825	− 0,01596	0,00111	0,00158
[illegible]	− 0,00617	0,2192	0,00568	0,0558	− 0,4342	− 0,02423	0,00112	0,00159
[illegible]	− 0,00323	0,1647	0,00427	0,0541	− 0,6062	− 0,03280	0,00120	0,00171
[illegible]	− 0,00013	0,0984	0,00255	0,0643	− 0,8007	− 0,05149	0,00125	0,00178
S_1	− 0,11616	S'_1	0,08564			0,06721	0,01698	0,02413

...GE PAR POIDS MORT (...pont partie opposée)	SURCHARGE SUR LA PARTIE MÉDIANE DU PONT VIII à XV inclus	CAMBRURE DE CONSTRUCTION
= − 0,01615	0	$c = 2\,(0{,}06721 + 0{,}03386) = 0{,}20214$
= − 0,03386	$2T_2 = 2 \times (-\ 0{,}05938) = -\ 0{,}11876$	
= − 0,01918	$T_3 + T'_3 = +\ 0{,}00747 - 0{,}01062 = -\ 0{,}00315$	RACCOURCISSEMENT DE L'ARC
= + 0,08564	$T_4 + T'_4 = -\ 0{,}05283 + 0{,}04334 = -\ 0{,}00949$	$\Delta s = 0{,}02413$

NOTE ANNEXE N° XI.

STABILITÉ DE L'ARC DE RIVE.

Tableaux numériques.

(Voir, p. 233, après les tableaux hors texte.)

XIV	XV	XVI
$P' = 53.625$ $\times \frac{48.325}{107.50} = 1629$ $\frac{Q}{P'} = 3{,}84753$ $Q = 13\,947$	$P' = 3625$ $P' \times \frac{51.95}{107.50} = 1752$ $\frac{Q}{P'} = 4{,}13614$ $Q = 14.994$	XVI $P' = 53.750$ $Q = \frac{1.000 \times \overline{53.75}^2}{4f} = 115.010$
Q. Z.	Q. Z.	Q. Z.
— 1.646	— 2.039	— 17.252
— 5.914	— 7.647	— 63.140
— 9.372	— 12.325	— 101.899
— 11.883	— 15.924	— 133.527
— 13.473	— 18.653	— 157.794
— 14.142	— 20.332	— 174.930
— 14.086	— 21.202	— 184.936
— 13.194	— 21.232	— 187.926
— 11.464	— 20.302	— 183.901
— 8.763	— 18.353	— 173.090
— 5.328	— 15.654	— 155.609
— 976	— 11,995	— 131.111
+ 4.365	— 7.182	— 97.528
+ 10.391	— 1.859	— 60.035
+ 3.570	+ 3.838.	— 18.862
0	0	0

X	XI	XII	OBSERVATIONS
$= 2,69307$	$\frac{Q}{P} = 2,98169$	$\frac{Q}{P} = 3,2703$	
0,024.967	− 0,012.868	− 0,002.23	$\frac{}{00\Omega} - f\Sigma_1^{15}\frac{mz}{100.000I} + \Sigma_1^{15}\frac{myz}{100.000I}$
0,387.107	+ 0,216.087	+ 0,056.45	$\frac{\theta}{00\Omega} + a\Sigma_1^{15}\frac{mz}{100.000I} - \Sigma_1^{15}\frac{mxz}{100.000I}$
0,067.238	− 0,038.368	− 0,007.30	$U = u\frac{Q}{P}$
1.042.506	+ 0,644.305	+ 0,184.63	$V = v\frac{Q}{P}$
0,069.912	0,077.405	0,084.89	$U' = u_{XVI}\frac{Q}{P}$
1,165.741	− 1,290.675	− 1,415.60	$V' = v_{XVI}\frac{Q}{P}$
0,020.329	− 0,014.883	+ 0,008.69	$\frac{U + U'}{2f} - \frac{V - V'}{2a}$
0,020.755	0,021.117	0,021.08	$\frac{U + U'}{2f} + \frac{V - V'}{2a}$
0,059.951	0,054.840	0,047.12	$\alpha f = \delta x_{15}\frac{E}{100.000P}$
0,049.103	− 0,155.657	− 0,282.51	$a\alpha = \delta y_{15}\frac{E}{100.000P}$

160.000

X
+ 0,0
0,1

XVI	OBSERVATIONS
+ 0,012.591	$u = - \Sigma_8^1 \frac{m}{100.000\Omega} - y_{(8-9)} \Sigma_1^8 \frac{mz}{100.0001} + \Sigma_8^1 \frac{myz}{100.0001}$
0,102.584	$v = - \Sigma_1^8 \frac{mlg\theta}{100.000\Omega} + x_{(8-9)} \Sigma_1^8 \frac{mz}{100.0001} - \Sigma_1^8 \frac{mxz}{100.0001}$
	$U = u \frac{Q}{P}$
	$V = v \frac{Q}{P}$
	$U' = u_{XVI} \frac{Q}{P}$
	$V' = v_{XVI} \frac{Q}{P}$

NUMÉROS des SECTIONS	DISTANCES x	COURBE moyenne des poussées et de la fibre neutre	ORDONNÉES de L'INTRADOS	ORDONNÉES de L'EXTRADOS	HAUTEUR VERTICALE de l'arc	SECTIONS DROITES	Ω	I	V	$\frac{I}{V}$
0 Retombée	0	»	— 0,500	0,500	1,0000	»	»	»	0	»
1	1,200	0,2900	— 0,240	0,820	1,0600	1,0303	0,123.327	0,020.447.726	0,51515	0,039.693
2	4,825	1,1130	0,512	1,714	1,2020	1,1722	0,132.251	0,028.037.972	0,5861	0,047.838
3	8,450	1,8735	1,214	2,5330	1,3190	1,2909	0,139.723	0,035.537.330	0,64545	0,055.058
4	12,075	2,5714	1,865	3,2778	1,4128	1,3873	0,145.783	0,042.444.274	0,69365	0,061.190
5	15,700	3,2066	2,466	3,9472	1,4812	1,4590	0,150.298	0,048.081.458	0,7295	0,065.910
6	19,325	3,7789	3,018	4,5398	1,5218	1,5032	0,153.079	0,051.775.332	0,7516	0,068.887
7	22,950	4,2893	3,520	5,0586	1,5386	1,5236	0,154.365	0,053.537.223	0,7618	0,070.277
8	26,575	4,7385	3,974	5,5030	1,5290	1,5174	0,153.962	0,052.993.548	0,7587	0,069.848
9	30,200	5,1270	4,378	5,8760	1,4980	1,4895	0,152.213	0,050.609.618	0,74475	0,067.955
10	33,825	5,4567	4,734	6,1794	1,4454	1,4395	0,149.075	0,046.506.777	0,71975	0,064.615
11	37,450	5,7281	5,041	6,4152	1,3742	1,3704	0,144.721	0,041.178.816	0,6852	0,060.098
12	41,075	5,9455	5,301	6,5900	1,2890	1,2867	0,139.451	0,035.251.457	0,64335	0,054.794
13	44,700	6,1094	5,512	6,7068	1,1948	1,1936	0,133.600	0,029.310.930	0,5968	0,049.113
14	48,325	6,2205	5,675	6,7660	1,0910	1,0904	0,127.107	0,023.486.288	0,5452	0,043.078
15	51,950	6,2800	5,790	6,7700	0,9800	0,9799	0,120.143	0,018.090.037	0,48995	0,036.922
16 Clé	53,750	6,2800	5,830	6,7800	0,9500	0,9500	»	»	»	»

TABLEAU II. — *Calcul des poussées*

NUMÉROS des SECTIONS	DISTANCES	POIDS DE L'ARC	OSSATURE en acier laminé longerons, montants, contreventement, entretoisement	POIDS du tablier $283^k \times \frac{2^m,857}{2} \times l$	DÉCORATION EN FONTE	POIDS TOTAUX P	MOMENT DES POIDS Px	SURCHARGE P'	MOMENTS de la surcharge $P'x$
0 Retombée	0 m	0 k	0	0	0 k	0 k	0	0 k	0
1	1,200	2.968	1.521k	1.217k	5.846	11.552	13.862	1.721	2.065
2	4,825	4.606	1.556	1.464	6.331	13.957	67.343	2.071	9.993
3	8,450	4.836	1.448	1.464	5.869	13.617	115.064	2.071	17.500
4	12,075	5.066	1.362	1.464	6.007	13.899	167.830	2.071	25.007
5	15,700	5.236	1.259	1.464	5.579	13.538	212.547	2.071	32.515
6	19,325	5.336	1.200	1.464	5.746	14.749	265.699	2.071	40.022
7	22,950	5.386	1.061	1.464	5.359	13.270	304.547	2.071	47.529
8	26,575	5.391	1.044	1.455	5.473	13.373	355.387	2.071	55.037
9	30,200	5.351	879	1.465	5.173	12.868	388.614	2.07[illegible]	62.544
10	33,825	5.24[illegible]	891	1.465	3.605	11.203	378.941	2.071	70.052
11	37,450	5.087	869	1.465	3.305	10.726	401.689	2.071	77.559
12	41,075	4.902	852	1.465	3.605	10.824	444.596	2.071	85.066
13	44,700	4.677	856	1.465	3.305	10.303	460.544	2.071	92.574
14	48,325	4.427	853	1.465	3.605	10.350	500.164	2.071	100.081
15	51,950	6.194	845	1.459	4.289	12.787	664.285	2.069	107.485
16 clef	53,750	»	»	»	»	»	»	»	»
		74.705	16.496	21.715	73.100	18.6016	4.741.112	30.713	82.5029

Poussée produite par la charge permanente seule : $Qp = \frac{4.741.112}{6,28} = 754.954.$

Poussée produite par la charge totale (charge permanente et surcharge) : $Qt = \frac{5.566.141}{6,28} = $ 886.

des ordonnées des courbes des pressions

POIDS cumulés (charge permanente)	$\Sigma_{x_n}^{a} P(x - x_n)$	SOMME des produits divisés par $Q_p = 754.954$	CHARGE permanente — Ordonnées de la courbe des pressions y_1	POIDS cumulés (charge permanente et surcharge)	$\Sigma_{x_n}^{a} (P+P')(x-x_n)$	SOMME des produits divisés par $Q_p = 886.328$	CHARGE totale — Ordonnées de la courbe des poussées y_2
196.016	4.741.112	6,28	»	216.729	5.566.141	6,28	»
174.464	4.517.893	5,9843	0,2957	203.456	5.306.067	5,9866	0,2934
160.507	3.885.461	5,1466	1,1334	187.428	4.568.538	5,1545	1,1255
146.890	3.303.622	4,3759	1,9041	171.740	3.889.111	4,3879	1,8921
132.991	2.771.147	3,6706	2,6094	155.770	3.266.554	3,6855	2,5945
119.453	2.289.054	3,0320	3,2480	140.161	2.701.887	3,0484	3,2316
105.704	1.856.037	2,4585	3,8215	124.341	2.193.804	2,4752	3,8048
92.434	1.472.860	1,9509	4,3291	109.000	1.743.068	1,9666	4,3134
79.061	1.137.787	1,5071	4,7729	93.556	1.347.943	1,5208	4,7592
66.193	851.190	1,1273	5,1527	78.617	1.008.803	1,1382	5,1418
54.930	611.241	0,8096	5,4704	65.343	723.816	0,8166	5,4634
44.264	411.902	0,5456	5,7344	52.546	486.947	0,5494	5,7306
33.440	251.445	0,3331	5,9469	39.651	296.468	0,3345	5,9455
23.137	130.225	0,1725	6,1075	27.277	152.733	0,1723	6,1077
12.787	46.353	0,0614	6,2186	14.856	53.854	0,0608	6,2192
»	»	»	6,28	»	»	»	6,28
»	»	»	6,28	»	»	»	6,28

Poussée produite par la surcharge seule : $Q_1 = 886.328 - 754.954 = 131.374$.

TABLEAU III. — Calcul d…

NUMÉROS DES SECTIONS	PREMIER CAS CHARGE PERMANENTE SEULE		DEUXIÈME CAS CHARGE TOTALE		$\frac{1}{2}$ …	
	Distance de la fibre neutre à la courbe des pressions de la charge permanente Z	Moment de flexion dû à la charge permanente Q_pZ	Distance de la fibre neutre à la courbe des pressions de la charge totale Z'	Moment de flexion dû à la charge totale Q_tZ'	Ordonnées de la courbe des pressions de la surcharge de la $\frac{1}{2}$ travée $y=\frac{4f}{a^2}\frac{x}{2}\left(\frac{3x}{2}-x\right)$	Dist… d… la fibre ne… à la parab… Z_1
0 Retombée	0	0	0	0	0	0
1	+ 0,0057	+ 4.303	+ 0,0034	+ 3.014	0,4144	+ [illegible]
2	+ 0,0204	+ 15.401	+ 0,0125	+ 11.079	1,5900	+ [illegible]
3	+ 0,0306	+ 23.102	+ 0,0186	+ 16.486	2,6514	+ [illegible]
4	+ 0,0380	+ 28.688	+ 0,0231	+ 20.474	3,5985	+ [illegible]
5	+ 0,0414	+ 31.255	+ 0,0250	+ 22.158	4,4314	+ [illegible]
6	+ 0,0426	+ 32.161	+ 0,0259	+ 22.956	5,1571	+ [illegible]
7	+ 0,0398	+ 30.047	+ 0,0241	+ 21.361	5,7544	+ [illegible]
8	+ 0,0344	+ 25.970	+ 0,0207	+ 18.347	6,2445	+ [illegible]
9	+ 0,0257	+ 19.402	+ 0,0148	+ 13.118	6,6204	+ [illegible]
10	+ 0,0137	+ 10.343	+ 0,0067	+ 5.938	6,8820	+ [illegible]
11	+ 0,0063	+ 4.756	+ 0,0025	+ 2.216	7,0293	+ [illegible]
12	+ 0,0014	+ 1.057	0	0	7,0624	− [illegible]
13	− 0,0019	− 1.434	− 0,0017	− 1.507	6,9813	+ [illegible]
14	− 0,0019	− 1.434	− 0,0013	− 1.152	6,7859	+ [illegible]
15	0	0	0	0	6,4762	+ [illegible]
16 Clef	0	0	0	0	6,2800	

moments de flexion (X).

…ÈME CAS …SURCHARGÉE		QUATRIÈME CAS $\frac{1}{2}$ TRAVÉE OPPOSÉE SURCHARGÉE			
Moments dus à la charge de la $\frac{1}{2}$ travée Q_1Z_1	Moments résultants $Q_pZ + Q_1Z_1$	Ordonnées de la courbe des pressions de la charge de la $\frac{1}{2}$ travée opposée $y = \frac{f}{a}x$	Distance de la fibre neutre à la droite Z_2	Moments dus à la charge de la $\frac{1}{2}$ travée opposée Q_1Z_2	Moments résultants $Q_pZ + Q_1Z_2$
0	0	0	0	0	0
		m	m		
+ 8.168	+ 12.471	0,1402	— 0,1498	— 9.837	— 5.534
+ 31.322	+ 46.723	0,5637	— 0,5493	— 36.570	— 21.169
+ 51.081	+ 74.183	0,9873	— 0,8862	— 58.192	— 35.090
+ 67.445	+ 96.133	1,4108	— 1,1606	— 76.211	— 47.523
+ 80.427	+ 111.682	1,8343	— 1,3723	— 90.112	— 58.857
+ 90.040	+ 122.201	2,2578	— 1,5211	— 99.883	— 67.722
+ 96.206	+ 126.253	2,6814	— 1,6079	— 105.583	— 75.536
+ 98.891	+ 124.861	3,1049	— 1,6336	— 107.270	— 81.300
+ 98.064	+ 117.466	3,5284	— 1,5986	— 104.972	— 85.570
+ 93.592	+ 103.935	3,9520	— 1,5047	— 98.806	— 88.463
+ 85.443	+ 90.199	4,3755	— 1,3526	— 88.819	— 84.063
+ 73.341	+ 74.398	4,7991	— 1,1464	— 75.278	— 74.221
+ 57.253	+ 55.819	5,2226	— 0,8868	— 58.232	— 59.666
+ 37.127	+ 35.693	5,6461	— 0,5744	— 37.720	— 38.154
+ 12.883	+ 12.883	6,0697	— 0,2103	— 13.809	— 13.809
0	0	6,2800	0	0	0

TABLEAU

NUMÉROS des SECTIONS	PREMIER CAS CHARGE PERMANENTE SEULE			DEUXIÈME CAS CHARGE TOTALE	
	$Q_p \cos\theta$	$\sin\theta\Sigma_x^a P$	F	$Q_t \cos\theta$	$\sin\theta\Sigma_x^a(P+P'$
0 Retombée	»	»	»	»	»
1	733.829	43.696	777.525	861.527	50.911
2	736.229	38.626	774.855	864.332	45.045
3	738.869	32.956	771.825	867.444	38.483
4	741.340	27.770	769.110	870.345	32.468
5	743.624	22.954	766.578	873.026	26.886
6	745.718	18.628	764.346	875.484	21.857
7	747.580	14.738	762.318	877.671	17.338
8	749.224	11.367	760.591	879.590	13.404
9	750.655	8.425	759.080	881.281	9.970
10	751.851	5.996	757.847	882.685	7.122
11	752.847	4.106	756.953	883.854	4.879
12	753.600	2.650	756.250	884.738	3.146
13	754.184	1.510	755.694	885.423	1.791
14	754.533	773	755.306	885.834	911
15	754.852	210	755.062	886.208	244
16 Clef	754.954	»	754.954	886.328	0

des efforts normaux.

TROISIÈME CAS SURCHARGE SUR LA 1/2 TRAVÉE			QUATRIÈME CAS SURCHARGE SUR LA 1/2 TRAVÉE OPPOSÉE			
$\sin\theta\left(\Sigma_x^a P' - \frac{p'a}{4}\right)$	F_1	$F + F_1$	$Q_1 \cos\theta$	$\sin\theta \frac{pa'}{4}$	F_2	$F + F_2$
»	»	»	»	»	»	»
5.411	69.239	846.764	63.828	1.804	65.632	843.157
4.716	68.751	843.606	64.035	1.699	65.734	840.589
3.949	68.215	840.040	64.266	1.576	65.842	837.667
3.245	67.726	836.836	64.481	1.451	65.932	835.042
2.604	67.284	833.862	64.680	1.325	66.005	832.583
2.030	66.892	831.238	64.862	1.197	66.059	830.405
1.527	66.550	828.868	65.023	1.071	66.094	828.412
1.092	66.259	826.850	65.167	944	66.111	826.702
726	66.017	825.097	65.291	819	66.110	825.190
429	65.824	823.671	65.395	695	66.090	823.937
200	65.682	822.635	65.482	574	66.056	823.009
36	65.584	821.834	65.547	460	66.007	822.257
— 67	65.531	821.225	65.598	347	65.945	821.639
— 118	65.511	820.817	65.629	256	65.885	821.191
— 92	65.564	820.026	65.656	126	65.782	820.844
»	65.665	820.619	65.665	»	65.665	820.619

TABLEAU V. —

Nos des SECTIONS	PREMIER CAS CHARGE PERMANENTE SEULE				DEUXIÈME CAS CHARGE TOTALE			
	1er TERME — Effet de l'effort normal $\frac{F}{\Omega}$	2e TERME — Effet du moment de flexion $\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure supérieure $-\frac{F}{\Omega}-\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure inférieure $-\frac{F}{\Omega}+\frac{XV}{I}$	1er TERME — Effet de l'effort normal $\frac{F'}{\Omega}$	2e TERME — Effet du moment de flexion $\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure supérieure $-\frac{F'}{\Omega}-\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure inférieure $-\frac{F'}{\Omega}+\frac{XV}{I}$
0 Retombée	»	»	»	»	»	»	»	»
	k	k	k	k	k	k	k	k
1	6,304	+ 0,108	— 6,412	— 6,696	7,399	+ 0,076	— 7,475	— 7,323
2	5,859	+ 0,322	— 6,181	— 5,537	6,876	+ 0,232	— 7,108	— 6,644
3	5,524	+ 0,420	— 5,944	— 5,104	6,484	+ 0,299	— 6,783	— 6,185
4	5,276	+ 0,469	— 5,745	— 4,807	6,193	+ 0,335	— 6,528	— 5,858
5	5,100	+ 0,474	— 5,574	— 4,626	5,988	+ 0,336	— 6,324	— 5,652
6	4,993	+ 0,467	— 5,460	— 4,526	5,862	+ 0,333	— 6,195	— 5,529
7	4,938	+ 0,428	— 5,366	— 4,510	5,798	+ 0,304	— 6,102	— 5,494
8	4,940	+ 0,372	— 5,312	— 4,568	5,801	+ 0,263	— 6,064	— 5,538
9	4,987	+ 0,286	— 5,273	— 4,701	5,855	+ 0,193	— 6,048	— 5,662
10	5,084	+ 0,160	— 5,244	— 4,924	5,968	+ 0,092	— 6,060	— 5,876
11	5,230	+ 0,079	— 5,309	— 5,151	6,141	+ 0,037	— 6,178	— 6,104
12	5,423	— 0,019	— 5,442	— 5,404	6,367	»	— 6,367	— 6,367
13	5,656	— 0,029	— 5,627	— 5,685	6,641	— 0,031	— 6,610	— 6,672
14	5,942	— 0,033	— 5,909	— 5,975	6,976	— 0,027	— 6,949	— 7,003
15	6,285	»	— 6,285	— 6,285	7,378	»	— 7,378	— 7,378
16								

vail du métal.

CHARGÉE	QUATRIÈME CAS DEMI-TRAVÉE OPPOSÉE SURCHARGÉE				VALEURS MAXIMA ET MINIMA DU TRAVAIL			
Travail de la membrure inférieure $-\frac{F}{\Omega}+\frac{XV}{I}$	1er TERME — Effet de l'effort normal $\frac{F}{\Omega}$	2e TERME — Effet du moment de flexion $\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure supérieure $-\frac{F}{\Omega}-\frac{XV}{I}$	Travail de la membrure inférieure $-\frac{F}{\Omega}+\frac{XV}{I}$	Membrure supérieure Maxima	Membrure supérieure Minima	Membrure inférieure Maxima	Membrure inférieure Minima
» k	» k	» k	» k	» k	» k	» k	» k	» k
— 6,552	— 6,837	— 0,139	— 6,698	— 6,976	— 7,475	— 6,412	— 7,323	— 6.196
— 5.402	— 6,356	— 0,443	— 5,913	— 6,799	— 7,356	— 5,913	— 6,799	— 5,402
— 4.665	— 5,995	— 0,637	— 5,358	— 6,632	— 7,359	— 5,358	— 6,632	— 4,665
— 4,169	— 5,728	— 0,777	— 4,951	— 6,505	— 7,311	— 4,951	— 6,505	— 4,169
— 3,854	— 5,539	— 0,893	— 4,646	— 6,432	— 7,242	— 4,646	— 6,432	— 3,854
— 3,656	— 5,425	— 0,983	— 4,442	— 6,408	— 7,204	— 4,442	— 6,408	— 3,656
— 3,573	— 5,366	— 1,075	— 4,291	— 6,441	— 7,167	— 4,291	— 6,441	— 3,573
— 3,582	— 5,370	— 1,164	— 4,206	— 6,534	— 7,158	— 4,206	— 6,534	— 3,582
— 3,692	— 5,421	— 1,244	— 4,177	— 6,665	— 7,150	— 4,177	— 6,665	— 3,692
— 3,916	— 5,527	— 1,369	— 4,158	— 6,896	— 7,134	— 4,158	— 6,896	— 3,916
— 4,183	— 5,687	— 1,309	— 4,288	— 7,086	— 7,185	— 4,288	— 7,086	— 4,183
— 4.535	— 5,896	— 1,355	— 4,541	— 7,251	— 7,251	— 4,535	— 7,251	— 4,541
— 5.010	— 6,150	— 1,215	— 4,935	— 7,365	— 7,284	— 4,935	— 7,365	— 5,010
— 5,629	— 6,461	— 0,896	— 5,575	— 7,347	— 7,287	— 5,575	— 7,347	— 5,629
— 6,481	— 6,832	— 0.374	— 6,458	— 7,206	— 7,378	— 6,285	— 7.378	— 6,285

N° 11

NOTE

SUR LES CHOCS CAUSÉS PAR L'EAU

DANS

LES CONDUITES DE VAPEUR

ET SUR LES RUPTURES DE VALVES EN FONTE

Par M. WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines.

I

On ne se méfie pas assez, dans l'installation des conduites de vapeur, des chocs auxquels peut donner lieu l'eau de condensation que certaines dispositions de tuyauterie laissent s'accumuler. Les effets de ces chocs sont particulièrement dangereux, lorsqu'ils s'exercent contre les parois des boites des valves de prise ou d'admission de vapeur; ces boites sont généralement en fonte et ne sauraient impunément subir l'assaut des coups de marteau d'eau. De là des ruptures de ces boites de valves, qui entraînent parfois de graves accidents de personnes et sur lesquelles M. le Ministre des Travaux publics, par une circulaire en date du 4 janvier 1899, vient de prescrire aux ingénieurs en chef des Mines de faire appeler l'attention des usagers de chaudières à vapeur.

Lorsqu'un tuyau forme cul-de-sac, l'une de ses extrémités étant fermée ou presque fermée par une valve close ou seulement entr'ouverte, et que dans ce tuyau

un paquet d'eau est mis en mouvement vers l'extrémité fermée sous l'action de vapeur vive affluant à l'autre extrémité, il arriverait, si le tuyau contenait de l'air ou un gaz analogue, que ce gaz, plus ou moins emprisonné entre la masse d'eau en mouvement et l'extrémité fermée du tuyau, serait comprimé par ce piston liquide, formerait tampon élastique et amortirait le choc. Mais quand c'est seulement de la vapeur d'eau qui coexiste dans le tuyau avec le liquide, les choses ne se passent pas ainsi. La vapeur d'eau interposée entre le piston liquide et le fond du tuyau ne peut subsister, eu égard à la rapidité avec laquelle elle cède sa chaleur au liquide, qu'à la température de l'eau et des parois humides et à la tension de saturation correspondant à cette température. Si les circonstances faisaient qu'à un instant donné cette vapeur fût à une température et à une tension supérieures, elle subirait immédiatement, au contact de l'eau et des parois, et pour ainsi dire subitement si le contact était suffisamment étendu, une condensation partielle, et ce qui subsisterait à l'état de vapeur se trouverait ramené à l'état ci-dessus. Quand le piston liquide s'avance contre cette vapeur plus ou moins emprisonnée et en réduit le volume, elle ne passe pas nécessairement à une tension supérieure ; il peut même arriver qu'elle se condense dans le même temps avec une rapidité telle que sa pression s'abaisse, qu'il se produise par suite un appel de plus en plus énergique de la masse en mouvement ; finalement il y a choc.

La théorie ne permet guère de calculer l'intensité des forces mises en jeu par les phénomènes de ce genre ; mais elle admet que ces forces puissent être considérables. En fait, les chocs de cette nature donnent lieu, dans certaines circonstances, à des effets d'une intensité surprenante. C'est ce qu'ont mis en évidence, notamment, les expériences effectuées aux ateliers de construction de

la marine allemande, à Wilhelmshaven (*), et signalées à l'attention des lecteurs des *Annales des Mines* par M. Raymond (**). Rappelons seulement l'une d'elles : Un tube de 31 cm de diamètre et 6m,88 de longueur, en cuivre de 6 mm d'épaisseur, fermé aux deux bouts, et légèrement incliné sur l'horizontale, contient une certaine quantité d'eau. Cette eau n'occupe nulle part la section entière du tube; là où elle est le plus abondante, c'est-à-dire à l'extrémité basse, le plan d'eau se trouve à 0m,23 au-dessus de la génératrice inférieure; à l'autre extrémité, cette génératrice ne se trouve couverte que de 2 cm d'eau, la différence de niveau entre les deux bouts du tube étant 0m,21. A l'extrémité la plus basse, au-dessous du niveau de l'eau, on fait arriver de la vapeur; cette vapeur est amenée de la conduite générale de l'atelier, qu'alimentent des chaudières dont la pression de fonctionnement est 5 kg par cm², par un branchement de 8 cm de diamètre que termine une soupape à main de 50 mm. A l'autre extrémité du tube, se trouvent deux robinets d'évacuation, l'un près de la génératrice inférieure, l'autre près de la génératrice supérieure; ces robinets sont laissés ouverts. — Au début, il se faisait une évacuation régulière d'eau et d'air respectivement par ces deux robinets; puis, au bout d'un temps d'autant moins long que la soupape d'arrivée de vapeur était plus largement ouverte, survenaient des secousses et des réactions violentes; les robinets d'évacuation de l'extrémité haute du tube crachaient par à-coups, et quatre manomètres à maxima, dont 3 placés le long de la génératrice supérieure et le 4e greffé sur l'obturateur de l'extrémité haute

(*) *Recherches sur les causes des ruptures de tuyaux à bord des navires de Sa Majesté*, effectuées aux chantiers impériaux de Wilhelmshaven (*Marine Rundschau*, 5e année, mars 1894, p. 77 et suiv.).

(**) *Note au sujet de l'alimentation des chaudières dans la vapeur* (*Annales des Mines*, 9e série, t. XII, p. 533 et suiv.).

du tube, accusaient des efforts parfois considérables. Lors d'un essai où la soupape d'arrivée de vapeur était ouverte aux 3/5, les trois premiers manomètres marquèrent respectivement 34, 27, 65 kg par cm^2, celui du bout fut brisé, l'obturateur portant ce manomètre fut bombé et le tube lui-même gonflé à son extrémité. Lors d'un autre essai, avec même ouverture de la soupape d'introduction de vapeur, les manomètres de la génératrice supérieure marquèrent 22, 13 et 60 kg par cm^2 ; celui du bout, gradué jusqu'à 150 kg par cm^2, dépassa la limite de sa graduation, et le tube se déchira, au voisinage de son extrémité haute, sur une longueur de 21 cm.

Les observations et les expériences de M. Moritz (*) et de M. Raymond (**) ont montré, de la façon la plus claire, que c'est à des effets du même genre qu'il faut attribuer ces chocs alarmants et d'abord inexpliqués, qui, à bord de plusieurs bâtiments de la flotte française, ont ébranlé les tuyaux d'alimentation débouchant dans la vapeur des chaudières. Ainsi, lorsque ces tuyaux se prolongeaient à l'intérieur de la chambre à vapeur par une pipe horizontale, il arrivait, à certains moments, par suite de la discontinuité de l'action de la pompe alimentaire, que l'eau relativement froide injectée par cette pompe s'étalait rapidement sur une partie seulement de la section de la pipe. La vapeur, après avoir occupé au-dessus de cette eau l'espace laissé libre dans la pipe et dans la boîte du clapet régulateur d'alimentation, s'y condensait presque aussitôt par l'effet de son contact étendu avec l'eau et avec les parois froides de la boîte du clapet ; un appel énergique de vapeur sous pression avait lieu à l'extrémité libre de la pipe, et le liquide, violemment refoulé dans le sens de

(*) *Note sur les chocs dans les tuyautages d'alimentation des chaudières* (*Annales des Mines*, 9e série, t. XII, p. 513 et suiv.).

(**) *Loc. cit.* — Les mémoires de M. Moritz et de M. Raymond portent tous les deux la date d'août 1893.

cet appel, allait faire marteau d'eau à l'autre extrémité de la pipe et dans la boite du clapet. Il a suffi à M. Raymond de reproduire artificiellement ce phénomène dans une pipe mesurant 5 cm de diamètre, 1m,40 de longueur, et crépinée à sa partie inférieure sur la moitié de cette longueur, à l'intérieur d'un récipient contenant de la vapeur à la pression de 11 kg par cm², pour obtenir des chocs qui ont cassé le joint de boîte à clapet et gonflé la pipe sur une longueur de 15 cm.

C'est vraisemblablement à des phénomènes plus ou moins analogues qu'il faut rapporter les coups d'eau qui se produisent dans certaines tuyauteries de vapeur et viennent briser la fonte des boîtes de valves. M. Schmidt, dans des communications faites en 1892 et en 1896 aux Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur (*), en a déjà montré des exemples. On se propose, dans ce qui suit, de résumer quelques accidents récents dont le rapprochement paraît instructif.

II

Le 9 août 1897, dans une station électrique sise à Villefranche (Rhône), la boîte d'une valve de prise de vapeur s'est rompue, et il en est résulté, pour le chauffeur de l'usine, des brûlures qui ont entraîné trois mois d'incapacité de travail.

Cette station électrique possède deux chaudières Babcock et Wilcox, qui fonctionnent alternativement et servent de rechange l'une à l'autre. Elles sont timbrées pour la

---

(*) *Compte rendu des séances du XVIe Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur*, page 68 : Accident à un clapet d'arrêt de vapeur. — *Compte rendu des séances du XXe Congrès*, page 28 : Explosion partielle d'un clapet d'arrêt de vapeur dans une distillerie.

pression de 10 kg par cm² et fonctionnent normalement à celle de 7. La *fig.* 1 donne le plan de cette installation. C'est la chaudière n° 2, ou chaudière de droite, qui se trouvait en pression ; c'est la valve de prise de vapeur de la chaudière n° 1 ou de gauche, la chaudière froide, qui a donné lieu à l'accident.

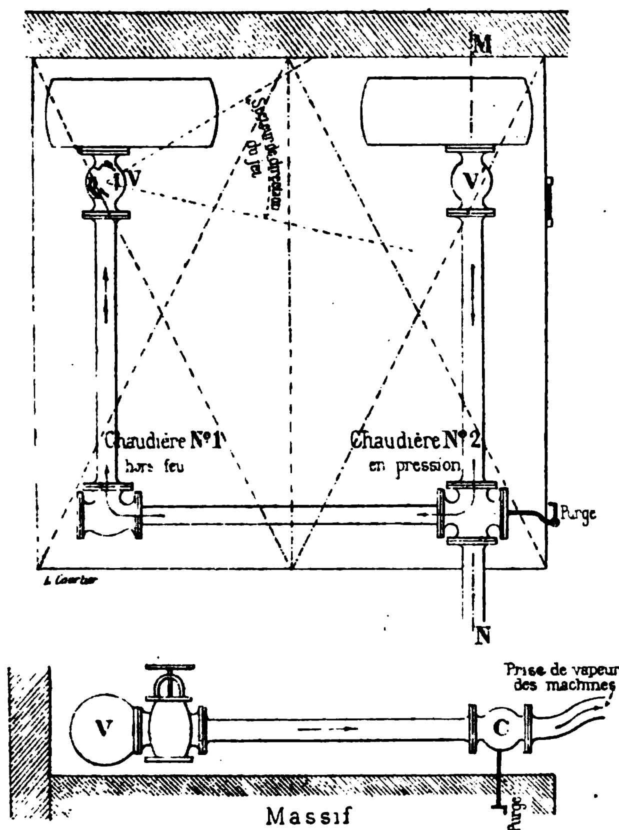


Fig. 1 et 2. — Plan de l'installation, à Villefranche, et coupe suivant MN.

Les *fig.* 1 et 2 montrent qu'à partir des deux valves de prise de vapeur V et V', qui sont placées à l'arrière de la

plate-forme supérieure des massifs, deux tuyaux courent horizontalement d'arrière en avant sur cette plate-forme; à l'avant ils sont reliés l'un à l'autre par un tuyau transversal; cet ensemble de tuyaux horizontaux forme les trois côtés d'un rectangle, et c'est de l'un des angles de ce rectangle, du point C, que part la conduite allant aux machines, laquelle se relève à un niveau supérieur. Par conséquent, dans l'ensemble des trois tuyaux horizontaux, l'eau de condensation a tendance à s'accumuler. Elle s'y accumule, en effet, durant l'arrêt quotidien des machines, la valve de prise de vapeur de la chaudière qui reste en pression laissant passer un peu de vapeur, soit qu'on ne la serre pas à fond, soit qu'elle ne soit pas tout à fait étanche.

Un purgeur est disposé à l'angle C d'où part la conduite allant aux machines; il fallait longtemps à ce purgeur pour évacuer toute l'eau de condensation de la tuyauterie; le jour de l'accident, par suite de circonstances quelconques, il est manifeste que la tuyauterie contenait une certaine quantité d'eau, lorsque le chauffeur se mit en devoir d'ouvrir la prise de vapeur de la chaudière de droite.

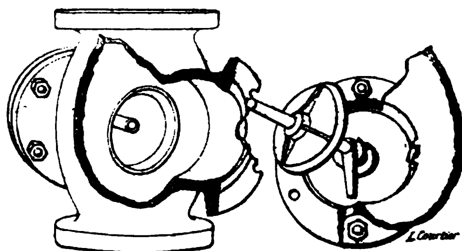


Fig. 3. — Rupture de la valve V de la chaudière n° 1 (Villefranche).

En effet, ce chauffeur, monté sur le massif et tenant en main le volant de la prise de vapeur, avait tourné ce volant de 4 ou 5 tours, lorsqu'il entendit un claquement dans la tuyauterie. Il continua d'ouvrir; mais il entendit

un second claquement plus violent, et aussitôt la boîte de valve V de la chaudière froide se brisa, de la manière représentée *fig.* 3, livrant passage à un jet qui fut assez violent pour aller marquer d'un sillon large et profond l'enduit du mur de fond de la chaufferie. Brûlé et aveuglé, le chauffeur ne put retrouver l'échelle et tomba en bas du massif, d'une hauteur de $3^m,50$.

La section de rupture de la fonte était saine. Les claquements entendus par le chauffeur ne laissent aucun doute sur la nature de l'accident.

III

Non moins caractéristiques sont les circonstances d'un grave accident survenu, le 5 janvier 1898, dans une filature, à Tourcoing. Ici la valve de prise de vapeur qui s'est brisée est celle même qu'on manœuvrait. Le chauffeur occupé à cette manœuvre a été brûlé par l'eau et la vapeur, atteint par les débris de la valve, et il est mort le lendemain.

L'installation comprend, comme le montrent les *fig.* 4 et 5, cinq générateurs, dont quatre chaudières à grand volume et un générateur Babcock et Wilcox. Les quatre grandes chaudières ont leurs prises de vapeur sensiblement au même niveau, tandis que la prise de vapeur de la chaudière Babcock et Wilcox est en contre-bas de $1^m,50$ ou $1^m,75$ par rapport aux autres. Comme déjà chacune des prises de vapeur des grandes chaudières est reliée au collecteur général de vapeur par un branchement en forme d'U renversé, dont la partie horizontale est à 1 m ou $1^m,25$ au-dessus de la valve correspondante, il en résulte que le tuyau partant de la valve de la chaudière Babcock et Wilcox s'élève à une hauteur de $2^m,65$ au-dessus de la bride supérieure de cette valve, avant de venir se raccorder sur la partie horizontale du branchement de la chaudière à grand corps voisine.

Dans la journée, la chaudière Babcock et Wilcox coo-

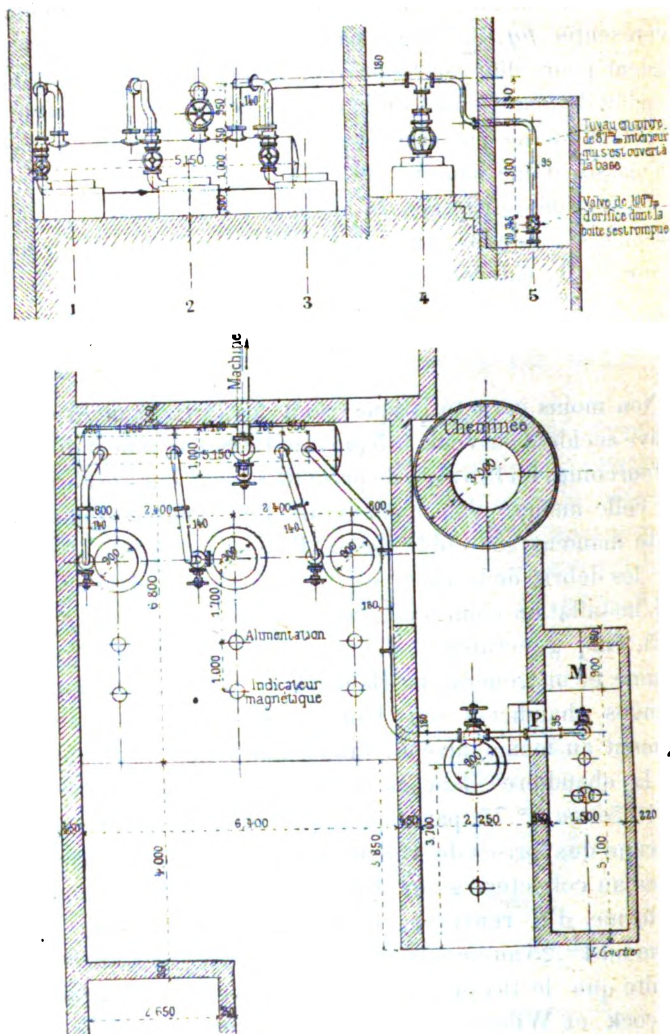


Fig. 4 et 5. — Coupe et plan de l'installation, à Tourcoing.

père avec les générateurs à grand corps à la production

générale de vapeur. Pour la nuit, tandis que ceux-ci sont laissés en communication avec le collecteur général, la chaudière Babcock et Wilcox, où la pression baisse rapidement, est isolée par la fermeture de sa prise de vapeur. On rouvre cette valve le matin, après avoir fait remonter la pression dans la chaudière Babcock et Wilcox à la même valeur que dans la chaudière à grand corps voisine.

Il résulte de là que, pendant toute la nuit, le tuyau qui surmonte la valve de la chaudière Babcock et Wilcox forme un cul-de-sac où l'eau de condensation s'accumule et se refroidit. Ce tuyau, ayant un tracé doublement coudé, offre environ 4 m de développement, et, par suite, son diamètre intérieur étant 87 mm, une capacité de 24 litres ; c'est un tuyau de cuivre de 4 mm d'épaisseur.

Chaque matin, lorsqu'on ouvrait la valve, il se produisait dans ce tuyau des vibrations et des claquements.

Six semaines avant l'accident qui devait entraîner la mort du chauffeur, la valve s'était fendue, mais sans s'ouvrir en grand. On l'avait purement et simplement remplacée par une autre pareille : valve à boîte en fonte, de forme extérieure ovoïde, dont le clapet reposait sur un siège de 90 mm de diamètre. Cette pièce, que les *fig.* 6 à 8 représentent après sa rupture, avait été éprouvée à 15 kg par cm^2 par le constructeur.

Le 5 janvier, quelques minutes avant 6 h. du matin, le chauffeur procédait à la manœuvre quotidienne d'ouverture de cette nouvelle valve, lorsqu'elle céda à son tour, mais cette fois d'une manière violente, en se divisant comme l'indiquent les *fig.* 6 et 7. « La partie antérieure, avec le volant de manœuvre, rapporte M. l'ingénieur des mines Herscher, fut projetée et renversa le malheureux ouvrier dans l'espèce de fosse (de 90 cm de large et 85 cm de profondeur), située en contre-bas de la plate-forme de la chaudière (en M de la *fig.* 5). Quand

on put pénétrer dans la chambre où il se trouvait, ce qui fut long, la plate-forme n'ayant d'autre dégagement que la porte (P) par laquelle la plate-forme de la chaudière Babcock communiquait avec celle de la chaudière à grand corps voisine(*), le chauffeur était couvert de brûlures qui entraînèrent sa mort le lendemain de l'accident. On

Fig. 6, 7 et 8. — Rupture de la valve et du tuyau de prise de vapeur de la chaudière n° 5 (Tourcoing).

a constaté que la vis de manœuvre avait été tournée de trois tours environ depuis sa position correspondant à la fermeture du clapet. Celui-ci était ainsi ouvert de 7 mm environ. »

(*) Les clapets automatiques d'arrêt de vapeur, dont les autres chaudières étaient pourvues, ont bien fonctionné et ont empêché le déversement de la vapeur de ces chaudières.

La fonte brisée était saine. Il est vrai que son épaisseur, par suite sans doute d'un décentrage du noyau, était irrégulière : elle variait de 8 mm à 14^{mm},5. Mais ce qui prouve d'une manière irréfutable que la rupture de la pièce s'est produite sous un effort anormal et intense, c'est que l'explosion de cette boîte n'a pas été la seule avarie; le tuyau de cuivre, de son côté, s'est fendu au voisinage de son extrémité inférieure, suivant une génératrice, sur 14 cm de longueur, en formant une boutonnière de 15 mm de bâillement, ainsi qu'on le voit *fig.* 7 et 8.

IV.

Le 15 juin 1898, c'est dans une fabrique de rubans, à Wervicq (Nord), qu'un accident du même genre est survenu, causant au chauffeur des brûlures qui ont entraîné une incapacité de travail de cinq semaines. Comme dans le cas précédent, la boîte qui s'est rompue est celle d'une valve de prise de vapeur qui terminait un cul-de-sac où l'eau de condensation devait s'accumuler, et la rupture s'est produite au moment où le chauffeur venait d'ouvrir légèrement cette valve.

Les dispositions générales de l'installation sont indiquées *fig.* 8 et 9. Les chaudières, au nombre de deux, sont timbrées à 8 kg ; chacune d'elles offre une capacité de 13 m^3; on n'en a représenté, sur le dessin, que les réservoirs supérieurs de vapeur. Le réservoir de la chaudière n° 2 est à un niveau un peu inférieur à celui de l'autre chaudière, de sorte qu'à partir de la valve de 14 cm, qui sert d'organe de prise de vapeur sur cette chaudière n° 2, le tuyau de 15 cm de diamètre, qui fait suite à cette valve, présente une inclinaison montante, mais très légère, atteignant à peine $3\frac{1}{2}$ p. 100 ; ce tuyau se relève en effet de 0^m,12 sur une

longueur de 3m,50 ; comme son diamètre est 0m,15, on voit qu'il peut avoir, à un moment donné, sur toute sa longueur, de l'eau n'occupant qu'une partie de sa section.

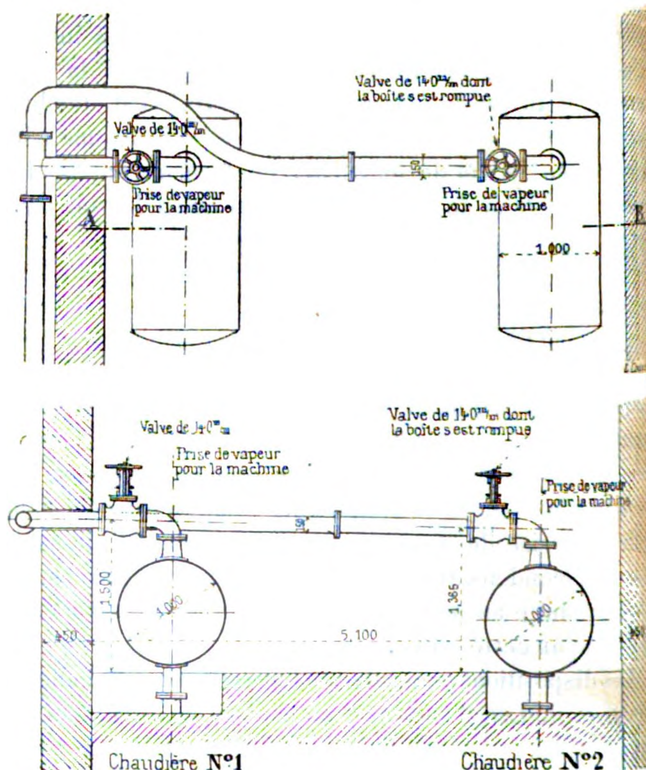


Fig. 9 et 10. — Coupe et plan de l'installation, à Wervicq.

Au début de la journée de travail, quand les deux générateurs devaient fonctionner simultanément, le chauffeur avait, paraît-il, l'habitude d'ouvrir d'abord la valve du n° 1, puis celle du n° 2 qui avait en général, à ce moment, une pression moins forte que l'autre. Cet ouvrier rapporte qu'à l'ouverture de la valve du n° 2 il se produisait toujours des chocs violents ; quelque temps avant l'acc

dent, le bruit produit un certain jour aurait été assez fort pour l'effrayer. Le 15 juin au matin, voici quel a été, au rapport de M. l'Ingénieur des Mines Herscher, le

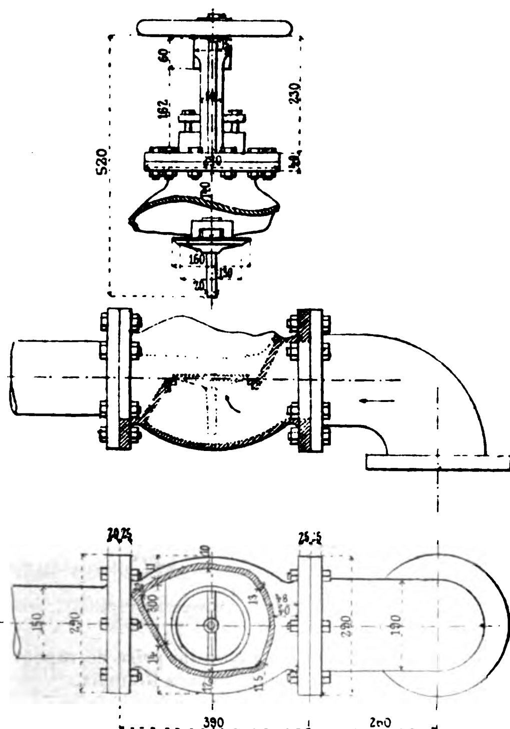


Fig. 11, 12 et 13. — Rupture de la valve de la chaudière n° 2 (Wervicq).

détail des faits : « Le chauffeur, en arrivant à 5 h. 1/2 à l'usine, alla tout d'abord, d'après sa déposition, ouvrir le purgeur de la valve du générateur n° 1 dont la pression à ce moment était de 6 kg environ. La pression à la chaudière n° 2 était de 4 kg à peu près lorsqu'il essaya d'ouvrir sa valve, qui était assez dure. Avec effort il réussit à soulever très légèrement le clapet. Aussitôt la partie supérieure de la boite se détacha. »

La manière dont cette boîte s'est divisée est représentée *fig.* 11, 12 et 13. La fonte était saine, sans apparence de cassure ancienne, et sans autre défaut que l'inégalité d'épaisseur que l'on constate bien souvent dans les pièces de fonte de ce genre : l'épaisseur, mesurée le long de la cassure, variait de 10 à 17 millimètres.

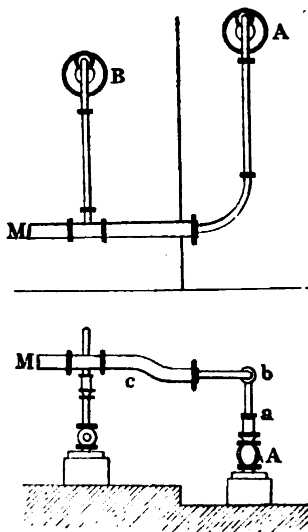


Fig. 13 et 14. — Installation du tuyau de prise de vapeur qui s'est rompu le 2 octobre 1896, à Roubaix.

Il est particulièrement instructif de rapprocher de cet accident les circonstances d'une rupture de tuyau de prise de vapeur, dont MM. Olry et Bonet ont rendu compte, en 1897, au Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

Pour l'intelligence de ce qui suit, nous reproduisons ci-dessus, *fig.* 13 et 14, la partie la plus essentielle du dessin annexé à la communication de MM. Olry et Bonet. L'installation, qui était celle d'une usine de Roubaix, comprenait trois générateurs placés côte à côte et ayant

leurs prises de vapeur, telles que B, reliées par des branchements en col de cygne à une conduite collectrice commune M de 33 cm de diamètre; puis, à l'extrémité droite de cette batterie, un quatrième générateur, du type Galloway, avait sa prise de vapeur A placée à un niveau un peu inférieur et reliée au collecteur M par un branchement de 16 centimètres de diamètre, de la manière que montrent clairement les dessins.

Comme l'ont fait judicieusement remarquer MM. Olry et Bonet, il résulte de cette disposition « qu'en cas d'arrêt du générateur n° 4, de l'eau condensée vient s'accumuler au-dessus de la valve de prise de vapeur de cet appareil; le niveau de cette eau peut s'élever jusqu'à hauteur des débouchés des tuyaux de vapeur des trois autres chaudières dans la conduite collectrice; elle commence donc par remplir la partie verticale *ab*; après quoi elle s'étale dans la partie horizontale *bc*; à partir de ce moment, sa surface libre se trouve en très large contact avec la vapeur de la conduite.

« Pour permettre l'évacuation de cette eau, on avait placé en haut de la valve de prise de vapeur du générateur n° 4 un robinet de purge, suivi d'un tuyau d'écoulement.

« Le matin, lors de la mise en marche, le chef mécanicien ouvrit légèrement ce robinet, pour faire sortir l'eau qui avait dû se condenser en assez grande quantité pendant la nuit. Quelques instants après, l'alimenteur survint, et — on ignore pourquoi — ouvrit en grand ce même robinet. Cette manœuvre occasionna presque aussitôt des chocs violents et un ébranlement général de toute la conduite de vapeur; l'alimenteur se précipita alors sur le robinet (de purge) pour le fermer, mais, au même instant, le tuyau *ab* se déchira au voisinage du point *a*, en laissant échapper des fluides brûlants, par lesquels cet ouvrier fut si grièvement blessé qu'il succomba quelques heures

après... La déchirure suivait la brasure sur une longueur de 0m,75 ; elle se terminait en pointe vers le haut; du côté opposé, à proximité de la bride en contact avec le clapet de retenue de vapeur de la chaudière, elle s'étendait transversalement sur la moitié environ de la section du tuyau ; la plaie avait une ouverture maxima de 0m,16 (*). »

Il est probable que, dans ce cas, l'ouverture du robinet de purge a produit un effet équivalent au commencement d'ouverture de la valve lors de l'accident de Wervicq.

Dans un cas comme dans l'autre, par l'effet de l'écoulement et à raison du tracé de la tuyauterie, il a dû arriver qu'à un instant donné l'eau de condensation, après avoir occupé sur une longueur notable une partie seulement de la section d'un tuyau horizontal ou presque horizontal, s'est trouvée mise en mouvement, poussée d'un côté par la vapeur vive, et arrivant à former un piston liquide en arrière duquel il y avait le vide, ou peu s'en faut, puisque la vapeur s'y trouvait en contact étendu avec l'eau et les parois froides.

V

Nous mettrons encore en regard de ces accidents deux cas plus anciens de ruptures de boîtes de prise de vapeur, qui ont présenté l'un avec l'autre de frappantes analogies, et dont, à l'époque, les causes ont paru incertaines ou incomplètement précisées. Ces ruptures se sont produites, l'une le 18 avril 1891, dans une minoterie à Por-

(*) *Compte rendu des séances du XXIe Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur;* 22e question, Accidents de tuyauteries de vapeur : Note de MM. Olry et Bonet, p. 275. Voir dans le même volume, p. 286, un accident cité par M. Walther-Meunier et considéré par lui comme attribuable avec vraisemblance à un coup d'eau, et, p. 289, le cas cité par M. Compère d'un tuyau d'alimentation dans la vapeur, qui s'est à plusieurs reprises gonflé et rompu ; il s'agit ici apparemment d'un fait analogue à ceux étudiés par MM. Moritz et Raymond.

nic (Loire-Inférieure), l'autre pendant la nuit du 9 au 10 juillet 1896, dans une brasserie, à Paris. La production des coups de marteau d'eau n'y apparait pas avec la même évidence qu'à Villefranche, à Tourcoing ou à Wervicq; on retrouve cependant, dans la physionomie de ces accidents, des traits qui s'expliquent bien par l'intervention de cette cause commune.

Dans l'un et l'autre de ces deux cas, comme dans l'accident de l'usine électrique de Villefranche, l'établissement possédait deux chaudières, dont l'une était en pression et l'autre froide, et c'est la boîte de la valve de prise de vapeur de la chaudière froide qui s'est brisée. Mais, tandis qu'à Villefranche la rupture s'est produite à l'ouverture de la prise de vapeur de la chaudière en pression, à Pornic et à Paris c'est la valve même du générateur inactif que le chauffeur s'occupait de manœuvrer, lorsque la boîte de cette valve a fait explosion. Notons qu'il s'agissait de valves neuves, et de conduites dont la disposition était nouvelle; car, tant à la minoterie de Pornic qu'à la brasserie de Paris, la chaudière froide était une chaudière récemment installée, qui n'avait pas encore servi ou n'avait été allumée que pour essais.

Dans la première de ces usines, la chaudière ancienne était timbrée à 6 kg, la nouvelle à 7. Leurs valves de prise de vapeur, d'un même modèle, étaient greffées horizontalement sur leurs dômes respectifs; les boîtes de ces valves, d'une capacité de 2 ou 3 litres et d'un modèle dont il existe un grand nombre d'exemplaires, étaient en fonte de 10 mm d'épaisseur; elles avaient été éprouvées par le constructeur à la pression hydraulique de 20 kg par cm².

De chacune de ces boîtes de prise de vapeur partait un tuyau qui s'élevait verticalement de 75 cm, puis se recourbait presque à angle droit, mais en conservant une légère pente vers le générateur; enfin ces tuyaux aboutissaient sur le collecteur alimentant les machines. Il

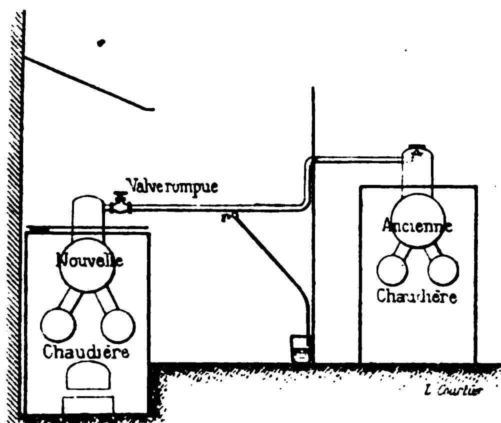
résulte de ces dispositions que, lorsqu'une chaudière était en service, tandis que l'autre était froide et avait par conséquent sa valve fermée, le tuyau correspondant à celle-ci formait un cul-de-sac en contre-bas, où l'eau de condensation ne pouvait faire autrement que de s'accumuler et de se refroidir.

Il paraît que le chauffeur avait pris l'habitude de purger cette eau deux ou trois fois par jour, en ouvrant légèrement la valve jusqu'à ce qu'il vît sortir de la vapeur par un des orifices de la chaudière froide, puis refermant. C'est pendant qu'il procédait à une opération de cette espèce que la boîte de la valve se brisa en trois fragments. Par suite d'une circonstance spéciale, trois ouvriers, en outre du chauffeur, se trouvaient présents sur le massif. La vapeur envahissant le local, les quatre hommes s'enfuirent; deux d'entre eux vinrent tomber dans une sorte de fosse, profonde de $3^m,15$, qui se trouvait à l'arrière de la plate-forme, et, dans cette chute, l'un de ces ouvriers fut blessé si grièvement qu'il expira le lendemain.

La boîte rompue, qui n'était en place que depuis quelques jours, n'a montré, dans ses surfaces de rupture, ni soufflure ni autre défaut; le grain de la fonte était fin et régulier, et son épaisseur remarquablement constante.

A Paris, en juillet 1896, l'installation comprenait également deux chaudières, une neuve qui était froide et une ancienne qui fonctionnait (*fig.* 15 et 16). Le timbre de ces deux appareils était 7kg. La chaudière neuve portait une valve de prise de vapeur dont le clapet mesurait 15 cm de diamètre, et dont la boîte, en fonte, d'une forme à peu près sphérique, offrait un diamètre de 30 cm. La tige commandant le clapet avait une vis dont le pas était de 7 mm et se terminait par un volant à main de 35 cm de diamètre.

Les deux chaudières étaient reliées par une conduite de vapeur traversant une cour de $4^m,25$ de largeur et se



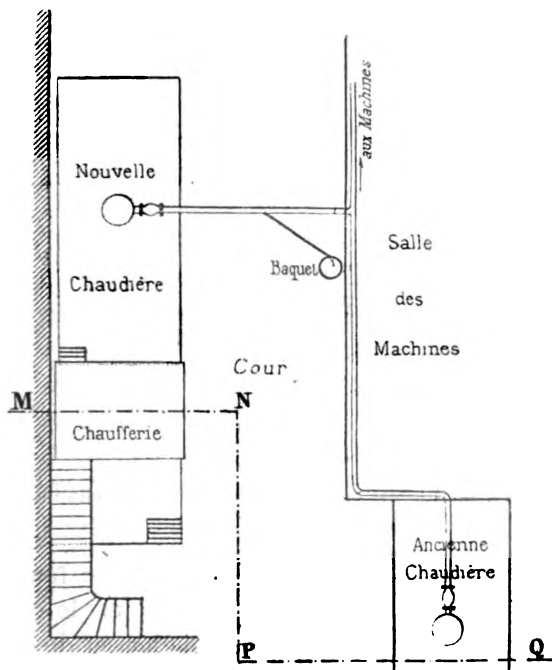


Fig. 15 et 16. — Coupe et plan de l'installation, dans une brasserie, à Paris.

recourbant vers le haut pour racheter une différence de niveau de 1m,15 existant entre les prises de vapeur des deux générateurs. C'est sur la partie haute de cette conduite qu'était branché le tuyau allant aux machines. Quand la chaudière nouvelle ne fonctionnait pas, la partie basse constituait une poche en contre-bas, formant cul-de-sac, qui nécessairement s'emplissait d'eau de condensation. Cette conséquence de l'installation n'avait pas échappé, car on avait muni cette partie de conduite d'un robinet purgeur indiqué *fig.* 15, avec tuyau d'évacuation aboutissant à un baquet.

Il est à remarquer que la conduite en question et la boîte de valve qui la terminait étaient exposées à des condensations actives et à des refroidissements particulièrement importants, se trouvant placées à peu près complètement en plein air.

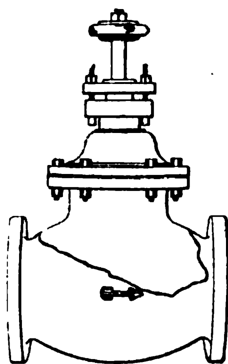


Fig. 17. — Rupture de la valve de la nouvelle chaudière (brasserie, à Paris).

C'était, dit-on, pour vérifier le bon état du fonctionnement de la valve, que le mécanicien et le chauffeur s'étaient portés sur la plate-forme du massif de la chaudière neuve. Ils en avaient pris en mains le volant depuis peu d'instants, lorsqu'il se produisit dans la boîte de

valve, au dire d'un témoin, une fente d'où sortit un jet d'eau, puis, au bout d'un temps appréciable, la boite fit explosion : elle se divisa suivant une ligne irrégulière comme le montrent les *fig.* 17 à 19, autour de la base du piétement de son chapeau boulonné. La partie inférieure, avec le siège du clapet, resta en place ; le fragment supérieur fut projeté avec le chapeau, le clapet et la tige de manœuvre de celui-ci. Plusieurs hommes se trouvaient par malheur présents sur le massif : l'un d'eux a été brûlé mortellement.

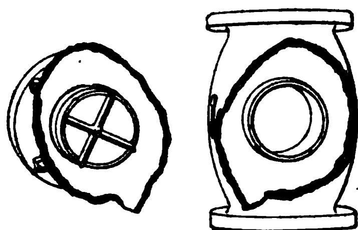


FIG. 18 et 19. — Vues de la valve rompue (brasserie, à Paris).

La pièce de fonte rompue était, comme à Tourcoing, comme à Wervicq, d'une épaisseur assez irrégulière, par suite de décentrage du noyau : elle mesurait de 18 à 19 mm du côté gauche et 12 mm seulement du côté droit, avec passage progressif d'une de ces valeurs à l'autre ; de plus, le métal, soumis à l'analyse chimique, a été trouvé fortement phosphoreux. Mais la surface de rupture montrait, dans toute son étendue, un grain fin, régulier, gris moyen sans trace de soufflure ou de défaut quelconque, et rien n'indiquait une cassure préexistante.

Le mécanicien et le chauffeur ont affirmé que la rupture s'était produite avant qu'ils eussent senti le clapet se décoller de son siège, et il a été reconnu, après l'accident, qu'en juxtaposant les deux parties de l'appareil brisé l'on

obtenait le contact du clapet sur son siège en même temps que celui des deux lèvres de la déchirure. Mais on peut aussi supposer que les deux ouvriers avaient refermé le clapet, après l'avoir ouvert pendant quelques instants, ou même que la constatation faite sur la pièce brisée n'est pas entièrement démonstrative.

Sans doute, en l'état des données qui précèdent, il aurait été téméraire de se montrer affirmatif sur les causes de ces deux accidents. Les dispositions des tuyauteries et l'ensemble des circonstances leur donnent cependant un certain air de famille avec ceux où la production de coups d'eau a été directement constatée, et il ne serait pas impossible que l'on dût donner, à l'un et à l'autre, une explication analogue à celle de l'accident de Wervicq.

VI

Ce ne sont pas seulement les valves de prise de vapeur, placées sur les chaudières, qui peuvent être exposées à des avaries de ce genre ; il en est naturellement de même, quand le tracé des tuyauteries y prête, des valves d'admission de vapeur qui terminent les conduites du côté des machines ou des autres appareils dans lesquels la vapeur est utilisée. Voici deux exemples d'accidents de cette espèce, dont les détails nous ont été obligeamment communiqués par M. l'Ingénieur des Mines Herscher.

La *fig*. 20 représente, en plan, l'installation de la tuyauterie reliant les chaudières à la machine, dans une usine de Tourcoing. Cette tuyauterie présentait, comme le montrent les cotes inscrites sur le dessin, un contre-bas de 3 mètres par rapport au collecteur de vapeur ; un sécheur, ou plus exactement un séparateur d'eau condensée, formé d'un récipient muni à sa base d'un tuyau de purge, avait été interposé à l'origine de la partie basse.

Puis, au bout d'un tuyau EF de 2^m,40 de développement, se trouvait, à une cote supérieure de 0^m,25 à celle du point E, une valve, du système Pile, commandant l'admis-

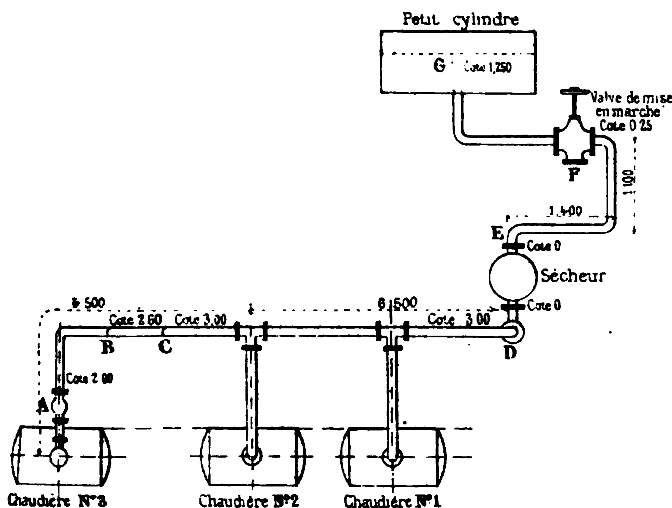


Fig. 20. — Plan coté de l'installation qui a donné lieu à la rupture de la valve d'admission F, à Tourcoing.

sion de vapeur au petit cylindre d'une machine compound. Les chaudières de cette usine fonctionnent à la pression de 12 kg. par cm^2.

C'est le fond de la boîte en fonte de la valve Pile qui s'est rompu, le 9 août 1898, comme le montrent les *fig.* 21 à 23, au moment d'une mise en marche succédant à un arrêt de deux jours. « Le mécanicien, seul témoin, rapporte M. Herscher, affirme avoir, en arrivant, ouvert pendant cinq minutes le robinet de purge du sécheur, puis il se rendit aux chaudières pour ouvrir les valves. Il venait d'ouvrir la valve du n° 3 quand il entendit dans le sous-sol de la machine, où se trouvait placé le sécheur, quatre ou cinq coups espacés d'environ une seconde et de plus en plus forts, qui ébranlèrent toute la tuyauterie.

Enfin un dernier coup fit rompre le plateau de la valve Pile. »

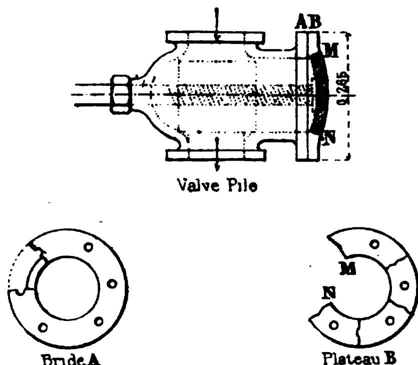


Fig. 21, 22 et 23. — Valve d'admission de vapeur à une machine, rompue à Tourcoing (valve F de la *fig.* 20).

Cette rupture fut inoffensive, parce que le mécanicien se trouvait éloigné. Il n'en a pas été de même, malheu-

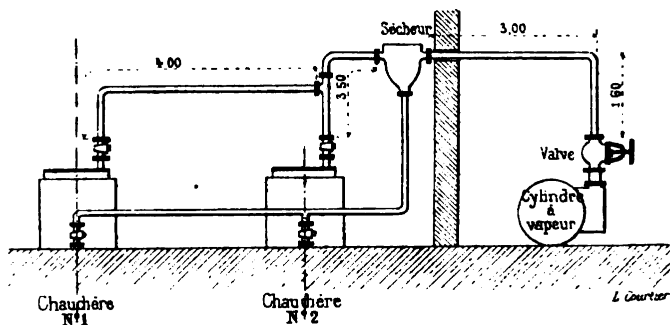


Fig. 24. — Élévation d'une installation qui a donné lieu à la rupture de la valve d'admission à la machine.

reusement, de l'accident suivant. Celui-ci a causé mort d'homme.

L'installation était celle représentée en élévation (*fig.* 24). On voit qu'à partir d'un sécheur, formé d'un récipient

muni à sa base d'un tuyau pour ramener aux chaudières l'eau condensée, la conduite de vapeur se développait horizontalement sur 3 mètres, puis plongeait verticalement de 1m,60 ; c'est au bas de cette partie descendante que se trouvait placée la valve d'admission. Le 29 septembre 1898, à sept heures du matin, le mécanicien commençait à ouvrir cette valve pour réchauffer le cylindre de la ma-

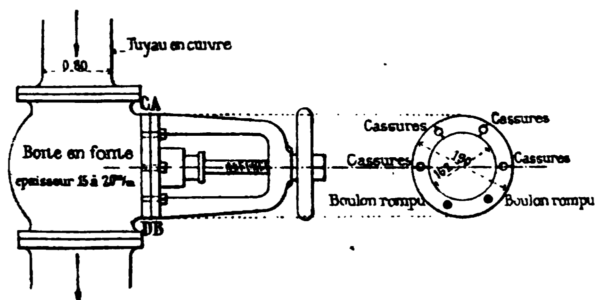


Fig. 25. — Détail de la valve (*fig.* 24) et indication des cassures de la bride CD.

chine, quand le plateau AB (*fig.* 25), qui était fixé par six boulons de 12 millimètres prisonniers dans la bride CD, se sépara violemment de cette bride ; il y eut rupture des deux boulons inférieurs, et les quatre autres s'arrachèrent de la bride CD, à la faveur de cassures transversales qui se produisirent dans cette bride et en éraflant les filets de vis qui les retenaient. Le plateau, avec son arcade, fut projeté à 10 mètres de distance ; atteint à la tête, le mécanicien fut renversé, couvert de brûlures, et l'accident lui coûta la vie.

Il est possible que les ruptures de boîtes de valves, du genre de celles dont nous venons de donner divers exemples, se fassent plus fréquentes depuis que se répand l'usage des pressions élevées. La fabrication de ces boîtes,

soit sous le rapport de la ductilité de la matière dont on les constitue, soit sous le rapport des formes, des épaisseurs et de la perfection des soins de fonderie, n'a peut-être pas suivi la progression qu'aurait comportée l'accroissement des pressions sous lesquelles on les fait servir. Il faut remarquer que ces pièces, même abstraction faite des coups d'eau, ne sont pas soumises seulement à la pression de la vapeur : il y a l'action des dilatations et des contractions, souvent brusques; il y a aussi la réaction des efforts que l'on exerce, en serrant la vis de manœuvre, pour appuyer le clapet sur son siège et obtenir une fermeture étanche : efforts qui peuvent être considérables, et qui tendent d'autant plus à l'être que la pression est plus élevée, surtout si, comme c'est le cas le plus fréquent dans la pratique actuelle, le clapet se ferme dans un sens tel que la pression de la vapeur tende à l'ouvrir.

Diverses causes peuvent donc concourir à amorcer des décollements dans la fonte de ces boites, et il semble, en résumé, qu'il y ait à tirer de notre étude, pour l'avenir, un double enseignement, portant d'une part sur les dispositions des tuyauteries, d'autre part sur la constitution des boites des valves.

N° 12

BULLETIN

DES

ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR

SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1897

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

BULLETIN

DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR

SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1897

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
10 janv.	Brasserie à Paris.	Chaudière à petits éléments d'un type analogue au type Babcock et Wilcox (Pl. 8, *fig.* 1 et 2) de 100 mètres carrés de surface de chauffe et 7 mètres cubes de capacité, timbrée à 7 kg. La fermeture autoclave qui a donné lieu à l'accident s'appliquait sur un trou ovale de $0^m,13 \times 0^m,105$, percé dans la paroi d'un collecteur vertical en fonte, en regard d'un tube bouilleur. L'autoclave était un tampon en acier avec bourrelet elliptique, destiné à pénétrer dans le trou, pour assurer le centrage du tampon, et entouré d'une tresse d'amiante : il portait en son centre un boulon de $0^m,12$ de long, de 10 millimètres de diamètre, réduit à [illegible]	Le générateur venait d'être remis en feu après un grand nettoyage. C'est en resserrant, à l'aide d'une clef, l'écrou de l'un des tampons de la façade arrière qui fuyait, qu'un ouvrier, assisté d'un aide, cassa le boulon ; le flux d'eau et de vapeur qui se produisit atteignit gravement l'ouvrier dans sa fuite. Après l'accident, des défauts de placement (Pl. 8, *fig.* 4) ont été constatés dans certains tampons.	Un ouvrier mortellement brûlé : un légèrement atteint.	Serrage intempestif d'un joint sur une chaudière en pression.

	[illegible] (Rhône).	[illegible] mètres carrés de surface de chauffe, $8^{m3},322$ de capacité, timbrée à 18 kg. et fonctionnant d'ordinaire à 16 ou 17 kg.; construite en 1895. Le réservoir supérieur d'eau et de vapeur était relié, à l'arrière, au collecteur de boues par un tuyau en cuivre de $0^m,15$ de diamètre, 5 millimètres d'épaisseur, $2^m,70$ de longueur, à tracé courbe sur une partie de sa longueur.	[illegible] longueur de $1^m,90$; la chaudière s'est vidée par cette ouverture; le mur de la façade arrière du fourneau a été démoli.	[illegible] matériels.	Amincissement d'un tuyau en cuivre électrolytique soumis à une température élevée et à une forte pression.
13 au 22 janvier	Usine d'éclairage électrique à Avignon (Vaucluse).	Trois chaudières Belleville du type B-5 : surface de chauffe, 54 mètres carrés; capacité, $1^{m3},350$: timbre, 15 kg. — Il existait dans l'épurateur et dans les tubes des dépôts de tartre cristallins très solides de 4 millimètres en général et, en certains points, de 5 et même 6 millimètres d'épaisseur.	Quatre ruptures de tubes se sont produites : le 13 janvier aux chaudières nos 1 et 2, le 17 à la chaudière no 3, et le 22 à la chaudière no 2, toujours à l'heure d'activité maximum de l'usine et à un tube de la 3e rangée horizontale à partir du bas.	La première et la troisième rupture ont été inoffensives ; lors de la deuxième et de la quatrième, il y a eu chaque fois un ouvrier grièvement brûlé.	Surchauffes causées par l'entartrement.
18 janv.	Usine à gaz à Paris.	Chaudière locomotive de 80 mètres carrés de surface de chauffe, $4^{m3},7$ de capacité, timbrée à 7 kg., datant de 1878. Elle portait 133 tubes à fumée de $0^m,05$ de diamètre, $3^m,75$ environ de longueur et 2 millimètres d'épaisseur normale. Ces tubes étaient en laiton rabouté en cuivre : ils avaient été remis en place en 1893, à la suite d'un changement de plaque tubulaire.	Un tube à fumée s'est déchiré en forme de languette, au voisinage de la plaque tubulaire du foyer, dans la partie raboutée en cuivre.	Un ouvrier grièvement brûlé, deux légèrement.	Amincissement excessif d'un tube à fumée, dont l'épaisseur, à l'endroit qui a cédé, se trouvait réduite localement à 1 millimètre.
28 janv.	Fabrique d'engrais à Boësse (Deux-Sèvres).	Récipient de vapeur cylindrique de $0^m,90$ de diamètre, $2^m,40$ de hauteur, un peu plus de 1.500 litres de capacité ; timbré à 6 kg. et pourvu d'une soupape réglée pour 3 kg. environ. Il portait à sa partie supérieure et à sa partie inférieure une tubulure de $0^m,37$ de diamètre, fermée par un	Un peu de suif s'échappant à la base de la fermeture de la tubulure inférieure, le chauffeur se mit en devoir de serrer l'écrou du boulon du bas. Un instant après le couvercle se détachait violemment.	Le chauffeur tué sur le coup ; un ouvrier grièvement brûlé.	Départ d'un tampon non autoclave, par suite du déversement, vers l'extérieur, du boulon à charnière placé au bas de ce tampon. Il est probable que ce déversement s'est fait par glissement de l'écrou sur les

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		couvercle en fonte de $0^m,47$ articulé autour d'une charnière et maintenu appliqué sur l'orifice par trois boulons à charnière équidistants et agissant par leurs écrous sur autant de paires d'oreilles que présente la périphérie du couvercle (Pl. 8, *fig.* 5,6,7). Un joint en caoutchouc, logé dans une rainure, était destiné à assurer l'étanchéité de la fermeture. L'appareil avait été construit en 1888, mais les deux tubulures à couvercle ne dataient que de 1894.			oreilles du couvercle, pendant que l'ouvrier cherchait à resserrer l'assemblage et sans qu'il y ait lieu de supposer qu'il se soit trompé de sens dans la manœuvre de la clef. Il doit être remarqué que la disposition des oreilles du couvercle et des écrous ne donnait aucune garantie contre le danger de ce glissement et de ce déversement ; que le mauvais état de la collerette fixée à la partie inférieure du tampon prêtait aux fuites, et qu'une fuite, comme celle qui s'est produite avant l'accident, incitait l'ouvrier à resserrer le joint en cours d'opération ; enfin qu'à un point de vue général le nombre de trois boulons d'attache était insuffisant.
29 janv.	Usine de vulcanisation de caoutchouc, à Paris.	Récipient consistant en une étuve cylindrique horizontale de $0^m,67$ de diamètre intérieur et 1 mètre de long. Construit il y a onze ans, il avait été l'objet d'une élévation de timbre de 6 à 7 kg., lors d'une épreuve décennale subie en décembre 1895. Le couvercle, à faible bombement, [illegible]	Au cours de la première des opérations de la journée, et sans aucune fuite préalable de vapeur, le couvercle est parti en grand et a été projeté à $2^m,50$.	Quatre personnes légèrement brûlées.	Départ violent d'un couvercle maintenu par des boulons à charnière dont la section, le nombre et les dispositions générales ne donnaient pas à la fermeture un coefficient de sécurité suffisant, la fatigue de ces attaches ayant dû d'ailleurs se trouver exagérée par des excès [illegible]

		ronne fixe. La tenue de l'assemblage était réalisée au moyen de sept boulons à oreilles, qui se rabattaient autour d'axes tangents à la couronne fixe, et dont les écrous appuyaient sur les oreilles du couvercle, sans s'y encastrer ni y être maintenus en place par des épaulements (Pl. 8, *fig.* 8 et 9).			
14 févr.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type B-7; surface de chauffe, 73 mètres carrés, capacité, $1^{m3},9$; timbre, 15 kg.; tubes de $0^m,10$ de diamètre intérieur.	Ouverture de deux tubes, l'un et l'autre de rang 4, appartenant l'un au 4e, l'autre au 5e élément, avec plaies presque identiques. De plus au 3e et au 4e élément, le 3e tube était criqué vers son milieu, l'un en long, l'autre suivant deux sections droites distantes de quelques centimètres. L'une des portes de foyer avait été ouverte par le chauffeur qui put ensuite la refermer à l'aide d'un outil. Les trappes d'expansion n'ont pas été soulevées. L'intérieur du faisceau était notablement entartré; la communication extrême de droite (côté de l'arrivée de l'eau) entre l'épurateur et l'élément situé de ce côté contenait des dépôts adhérents qui, au sommet de cette communication, en réduisaient le diamètre de 67 à 40 millimètres.	Néant.	Surchauffe par manque d'eau: l'origine du manque d'eau n'a pas été reconnue avec une entière certitude; mais l'appareil offrait de forts entartrements, de telle sorte que la circulation ne se trouvait pas placée dans des conditions normales.
22 févr.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type B-9: surface de chauffe, 98 mètres carrés; capacité, $2^{m3},3$; timbre, 15 kg.; diamètre extérieur des tubes, $0^m,10$; épaisseur des tubes, 5 millimètres.	Ouverture, le long de la génératrice inférieure, en dehors de la soudure, du tube supérieur (14e à partir du bas) du 4e élément (à partir de la gauche). Aucune particularité n'a été relevée le long des lèvres de la déchirure; pas de dépôt en quantité importante; pas de corrosion.	Néant.	Cause que l'enquête n'a pu déterminer avec certitude.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
5 mars	Mines de houille, à La Chazotte (Loire).	**Chaudière horizontale à foyer extérieur, à flamme renversée** : surface de chauffe, 73 mètres carrés ; capacité, 30 mètres cubes ; timbre, 6 kg. Elle se composait d'un corps cylindrique de 1m,30 de diamètre et 15m,60 de longueur, chauffe le premier, et d'un bouilleur ou réchauffeur inférieur de 0m,80 de diamètre et 14m,76 de longueur que les gaz chauds léchaient ensuite. La communication entre les deux corps était faite au moyen de deux cuissards de 0m,50 de diamètre, placés tous deux à l'arrière. Un chandelier en fonte avait été primitivement adjoint aux oreilles de suspension pour soutenir le corps cylindrique à l'avant, mais il avait été rongé par la corrosion (Pl. 8, *fig.* 10). *Détails divers.* — Il y a lieu de signaler, comme ayant pu concourir à la production de l'accident : forme et dispositions générales de l'appareil qui exposaient particulièrement les clouures circulaires du corps principal aux efforts de dilatation et de flexion ; défaut de ductilité des tôles ; surchauffe des tôles au cours du service de l'appareil, notamment lors de l'emploi, pour l'alimentation, d'une eau qui donnait lieu à des dépôts abondants [illegible]	La chaudière s'est séparée en cinq tronçons principaux (Pl. 8, *fig.* 11, 12, 13). La partie avant du grand corps s'était complètement détachée du reste, par une rupture circulaire, à la jonction de la 1re et de la 2e virole. A l'extrémité arrière, la tête en fonte du réchauffeur s'était brisée. Enfin la partie voisine des cuissards s'était violemment disloquée et déchirée, à tel point qu'un vaste lambeau s'était trouvé découpé dans le corps cylindrique. L'abri des chauffeurs fut totalement enlevé, ainsi qu'une partie des dépendances du puits ; le câble fut précipité au puisard.	Trois tués. Dégâts matériels importants.	L'accident doit être rapporté : D'une part, à la fatigue et au mauvais état de la partie inférieure de la rivure circulaire reliant la 1re et la 2e virole du corps principal. Cette partie avait été réparée antérieurement à l'accident, par un remplacement de rivets, mais la réparation avait été certainement mal faite, puisque des rivets de 20 millimètres avaient été mis dans des trous de 22 millimètres. La rupture, suivant la ligne des rivets, qui a détaché les deux viroles l'une de l'autre, paraissait montrer dans la partie correspondant à cette réparation défectueuse, des traces de cassure ancienne ; D'autre part, à la faiblesse et au mauvais état de la tête en fonte de l'extrémité arrière du corps inférieur, tête dont l'épaisseur, exceptionnellement faible dès la construction, avait été encore amoindrie par la corrosion intérieure, et qui présentait une cassure ancienne de 0m,30 environ de développement [illegible]

	Barœul (Nord).	recouvrement, de 0m,096 de diamètre intérieur, 3 millimètres d'épaisseur et 4m,18 de longueur. Surface de chauffe, 50 mètres carrés; capacité, 4m3,950; timbre, 16 kg. Construite en 1886.	foyer au 2e élément à partir de la gauche : l'ouverture, distante de 1m,25 de l'extrémité avant du tube et tournée vers le feu, avait 0m,38 de long avec bâillement de 0m,23. Cette partie avariée du tube montrait de l'oxyde bleu et était légèrement emboutie; en même temps la rupture paraissait avoir pris naissance à une paille. De plus, les parties voisines de l'avarie étaient notablement incrustées, et dans le grand corps supérieur on a constaté la présence d'écailles de tartre.	sans gravité : d'abord atteint par la chute d'un tampon amovible soulevé par l'explosion, puis brûlé dans sa fuite par des charbons incandescents lancés de la grille dans la chambre de chauffe.	avoir été le résultat de la détérioration et de la surchauffe du tube dont le métal était pailleux, dont la surchauffe était favorisée par la présence de dépôts à l'intérieur de l'appareil et peut-être par des allures exagérées du feu, et auquel ces causes devaient faire perdre d'autant plus facilement la résistance nécessaire que son épaisseur était faible.
30 mars	Stéarinerie à Ivry (Seine).	Chaudière Roser à retour de flammes, avec un tube à fumée à l'intérieur de chaque tube vaporisateur. Le faisceau tubulaire se composait de 6 éléments comprenant chacun 7 tubes vaporisateurs superposés : ces tubes mesuraient 0m,10 de diamètre, 1m,65 de long, et suivant leurs axes étaient disposés autant de tubes de retour de flammes amovibles, dont le diamètre était de 0m,06 pour ceux de la rangée de coup de feu, de 0m,075 pour les autres. Surface de chauffe, 48 mètres carrés; capacité, 1m3,7. Timbre, 15 kg. lors de la construction en 1885; réduit à 10 kg. en 1895.	Déchirure du 3e tube vaporisateur, à partir du bas de l'élément extrême de gauche. Le tube s'est fendu en amande, sur 0m,43 de long, suivant une génératrice située en dehors de la soudure et intermédiaire entre la génératrice inférieure et celle la plus voisine du parement maçonné du fourneau. L'accident aurait été inoffensif, si le flux de vapeur avait trouvé la devanture du fourneau hermétiquement fermée et une issue facile d'un autre côté; mais, comme le chauffeur avait ouvert en grand la porte du foyer, il eût fallu que cette porte fût à fermeture automatique.	Chauffeur grièvement brûlé.	Circonstances que l'enquête, d'ailleurs tardive par suite du défaut d'avis, n'a pu préciser avec certitude.
4 avril.	Éclairage électrique d'un café, à Paris.	Chaudière Niclausse, construite en 1894, timbrée à 12 kg., comportant 80 tubes bouilleurs de 60 millimètres de diamètre et 1m,50 de long, qui contenaient chacun un tube directeur pour la circulation. Les tubes bouilleurs étaient en acier doux.	Ouverture en boutonnière du tube bouilleur inférieur de l'élément extrême de gauche, suivant sa génératrice inférieure, en dehors de la soudure : la déchirure commençait à 0m,65 de l'extrémité arrière du tube; elle présentait 0m,13 de longueur et 75 millimètres de bâille-	Néant.	Surchauffe locale dont les causes n'ont pu être fixées avec une entière certitude.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
			ment maximum. Le tube était gonflé et embouti dans la région de cette plaie, et son épaisseur s'y trouvait réduite jusqu'à 1/2 millimètre. Le tube directeur s'était écrasé et déchiré sur $0^m,10$ de longueur. La porte de foyer étant béante et la porte de boite à tubes, simplement poussée, s'étant ouverte, le jet de vapeur ne passa point par l'ouverture du cendrier et n'actionna point la trappe d'expansion.		
6 avril.	Peignage de laines, à Dorignies (Nord).	Récipient de plus de 100 litres, fonctionnant sous pression et ayant pour destination d'empêcher la vapeur d'arriver jusqu'aux filtres-presses, dans le cas où le niveau du liquide (eaux vannes) en élaboration se serait abaissé d'une manière exagérée dans un premier récipient auquel il faisait suite (Pl. 8, *fig.* 14). Acheté d'occasion en 1893, l'appareil avait servi à environ 3.500 opérations.	L'opération touchait à sa fin : le robinet d'admission des eaux vannes était fermé ; le robinet d'admission de la vapeur était ouvert. Le second récipient se déchira en pleine tôle, suivant une génératrice et deux lignes de section droite, de telle sorte qu'une des feuilles de tôle constituant le récipient s'était rabattue presque tout entière, comme une porte qui s'ouvre, autour d'un de ses bords verticaux en guise de charnière (Pl. 8, *fig.* 15, 16 et 17). Suivant sa ligne de rupture, la tôle était réduite de 9 millimètres à $4^{mm},3$ et même 1 millimètre 1/2.	Deux hommes tués, dont un sur le coup.	Le récipient était affaibli à l'excès par des corrosions profondes, résultat de la nature acide des matières élaborées, et n'avait pas été l'objet, en temps utile, des réparations et remplacement nécessaires.
9 avril.	Mines de houille, à Carvin (Pas-de-Calais).	Chaudière horizontale, cylindrique, à deux bouilleurs inférieurs. Surface de chauffe, 58 mètres carrés ; capa-	L'explosion a consisté en une double avarie du bouilleur de gauche. D'une part, la virole d'avant de ce bouilleur s'est ouverte tout le long de sa	Deux hommes tués, dont un sur le coup.	La forme de l'ouverture de la virole d'avant du bouilleur et l'ensemble des effets mécaniques rendent probable

			[illegible] complète à sa jonction avec la deuxième virole, suivant la ligne des trous de rivets, où elle se trouvait affaiblie par une fissure préexistante (Pl. 9, *fig.* 3).		explosion appelle de nouveau l'attention sur les avaries qui peuvent se produire le long des lignes de matage, sur les précautions qui doivent être prises dans le choix des tôles et dans leur mise en œuvre, sur la surveillance attentive dont les appareils à vapeur doivent être l'objet pour la découverte, en temps utile, des commencements de fissurations.
13 avril.	Brasserie, à Paris.	Récipient de vapeur constitué par le double fond d'une cuve de fabrication dite chaudière à brasser. La cuve était cylindrique (de 1m,60 de diamètre) en cuivre, avec couvercle simplement posé et percé de regards; elle contenait le bain liquide à élaborer qui pouvait être chauffé soit par un serpentin intérieur, soit par le double fond. Ce dernier était de forme lenticulaire (Pl. 9, *fig.* 4 et 5) constitué par une paroi inférieure en fonte et une paroi supérieure en cuivre rouge de 5 millimètres d'épaisseur, dont la base commune était un cercle de 1m,60 de diamètre avec flèches de 0m,200 pour le fond inférieur et 0m,135 seulement pour le fond supérieur. Les bords de ces deux fonds et la paroi cylindrique de la cuve se terminaient chacun par une collerette plane serrée par des boulons contre un cercle de fer forgé (Pl. 9, *fig.* 6). De plus, les deux fonds étaient reliés l'un à l'autre par des entretoises en cuivre, dont 6 au voisinage du centre et 18 suivant une	Déchirure de la feuille de cuivre formant la paroi supérieure du double fond. Cette feuille s'est déchirée sur 1m,50 environ de longueur, le long de l'angle de raccordement de la calotte sphérique avec la collerette; le segment ayant cette déchirure pour base s'est replié vers le haut à angle presque droit, suivant une corde tangente à la couronne d'entretoises; l'avarie ne s'est pas étendue à l'intérieur de cette couronne (Pl. 9, *fig.* 5).	Deux ouvriers grièvement brûlés.	Fissures profondes, développées au pourtour de la feuille de cuivre qui formait la partie supérieure du double fond. Cette feuille de cuivre, pliée sous un court rayon, était soumise, par suite des variations de la pression dans le double fond, à des efforts de flexion le long de ce pli; des fissures s'y trouvaient amorcées d'avance par des coups de burin donnés mal à propos sur les deux faces du métal lors de la construction (Pl. 9, *fig.* 7): ces fissures ont progressivement gagné en profondeur sous l'influence de ces flexions.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		circonférence de $0^m,442$ de diamètre, le long de laquelle le fond de cuivre était consolidé par un anneau de fer forgé. Capacité du double fond, 315 litres; construit et éprouvé en 1884 au timbre de 5 kg., mais non rééprouvé décennalement.			
13 avril.	Papeterie à Tallende (Puy-de-Dôme).	Lessiveur rotatif construit en 1878 : capacité environ, $20^{m3},5$; timbre, 5 kg. Il se composait d'un corps cylindrique de $2^m,25$ de diamètre et $3^m,92$ de longueur, formé de trois viroles et de deux fonds hémisphériques formés chacun de six portions de fuseaux embouties et d'une calotte axiale portant le tourillon. (Pl. 9, *fig.* 8). Chacune des viroles extrêmes, dont la longueur était de $1^m,34$, portait un trou d'homme rectangulaire avec coins arrondis suivant des quarts de cercle de très petit rayon ; le vide découpé dans la virole mesurait $0^m,877 \times 0^m,625$; le cadre en fonte armaturant cet évidement présentait une ouverture de $0^m,75 \times 0^m,51$. La fermeture était autoclave, et la porte en tôle, raidie par une cornière, était serrée contre le rebord interne du cadre en fonte par deux chevalets (Pl. 9, *fig.* 9, 10, 11). Ces chevalets ser- [illegible]	L'explosion est survenue au cours d'une opération pour laquelle le chargement de l'appareil avait été terminé une heure avant : c'est l'un des trous d'homme qui a été le point de départ de la fragmentation : la virole correspondante se déroula et fut profondément déformée ; le fond hémisphérique adjacent fut projeté d'un côté, le reste de l'appareil, de l'autre ; enfin, une partie de petite étendue, qui comprenait le côté gauche du cadre de fonte rompu, n'a pas été retrouvée.	Quatre ouvriers tués, deux blessés grièvement et deux légèrement. Dégâts matériels considérables.	La cause essentielle a été l'existence de cassures anciennes dans trois des quatre angles du cadre en fonte de l'un des trous d'homme du récipient. (Pl. 9, *fig.* 12). En raison des formes et de la matière de ce cadre, des dimensions de l'ouverture, de l'influence des dilatations et des serrages de joint, de l'âge de l'appareil et des surpressions qui avaient pu résulter de l'absence de la soupape réglementaire entre les générateurs et le récipient, la formation de ces cassures était toute naturelle. De pareilles cassures anciennes, qui occupaient toute la section du métal à l'un des angles, presque toute cette section aux deux autres, et que l'on a trouvées tapissées d'une couche [illegible]

	ciers (Rés[illegible] ris-Lyon-Méditerranée).	[illegible] en cuivre du côté [illegible]yer ; ces tubes avaient 65 millimètres de diamètre intérieur et 3m,47 de long et pesaient 21 kg., soit 6kg,140 par mètre, alors que les tubes lisses en fer ou en laiton pèsent seulement 2 kg. à 2kg,500 par mètre.	[illegible] distante de 10 millimètres de la plaque tubulaire du foyer, dans la partie raboutée en cuivre.	jours d'incapacité de travail).	amené toute une série de ruptures dans la tubulure de la machine. Les raboutages en cuivre constituaient la partie faible de l'ensemble et ont dû céder sous l'action des trépidations et des contractions, accentuées par le poids et la rigidité des tubes à ailettes, ainsi que par le grand développement de leur surface intérieure.
3 mai.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type B-9. Diamètre extérieur des tubes, 100 millimètres; longueur, 2m,07. Timbre, 15 kg.	Ouverture en boutonnière du 5e tube (à partir du bas) de l'élément extrême de gauche. L'ouverture commençait à 0m,93 de l'extrémité avant et mesurait 265 millimètres de longueur et 86 millimètres de bâillement maximum. A tous les éléments, les tubes des trois rangées inférieures portaient une patine bleue d'oxyde des battitures; ceux des rangées supérieures étaient recouverts d'une teinte ocreuse. Plusieurs chevilles fusibles avaient été fondues.	Néant.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau ; la cause précise du manque d'eau reste indéterminée.
Deuxième semaine de mai.	Tissage de coton, au Valdoie (territoire de Belfort).	Chaudière à foyer intérieur, cylindrique, horizontale. Surface de chauffe, 20 mètres carrés ; capacité, 2m3,9. Timbre, 5kg,5. Le foyer, de 0m,64 de diamètre, était formé de trois viroles en tôle de fer de 8 millimètres ; la première virole, contenant la grille, était en tôle au bois.	Déchirure du foyer intérieur le long de l'assemblage des deux viroles et dans la tôle de la première (Pl. 9, *fig.* 13). Les deux premières viroles se bosselèrent dans le voisinage de leur jonction et dans la région de la génératrice supérieure du cylindre ; la première virole s'abaissa en un sinus convexe vers le bas, le plissement de la deuxième étant en sens inverse. La vapeur s'échappa par la cheminée ; la porte du foyer resta fermée, et le chauffeur n'eut aucun mal.	Néant.	Surchauffe par manque d'eau, dont l'enquête, opérée tardivement par suite du défaut d'avis, n'a pas permis de préciser la cause.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
31 mai.	Bateau à vapeur dans le port de Guiche (Basses-Pyrénées).	Chaudière cylindrique, horizontale, type « marine » tubulaire, à retour de flamme. Timbre, 7 kg.	Le mécanicien avait achevé depuis peu de temps une alimentation de la chaudière, lorsque le robinet interposé à l'insertion du tuyau d'alimentation, entre le clapet de retenue et le générateur, laissa tout à coup échapper un flot d'eau et de vapeur : le cône de ce robinet s'était détaché de son boisseau.	Mécanicien grièvement brûlé.	Départ du cône d'un robinet placé à l'insertion du tuyau d'alimentation sur la chaudière : cette pièce aurait dû être maintenue par un écrou, de manière à ne pas quitter son boisseau. La cause de son départ n'a pas été élucidée, l'écrou n'ayant pas été représenté lors de l'enquête.
8 juin.	Filature de soie, à Lussas (Ardèche).	Chaudière cylindrique, horizontale, de $0^m,90$ de diamètre, avec dôme ; capacité, $1^{m3},833$. Timbre, 2 kg.	La chaudière se déchira à la virole d'avant, à peu près suivant les rivures (Pl. 9, *fig.* 14 et 15), et fut projetée à 10 mètres de distance dans un champ. Le long de la déchirure, les tôles, dont l'épaisseur primitive avait été 6 millimètres, n'avaient plus que 1 ou 2 millimètres au plus, parfois moins de 1/2 millimètre, et étaient en certains points perforées par la rouille.	Pas d'accident de personne. Démolition complète de la toiture du local de la chaudière.	Corrosion profonde des tôles de l'appareil, âgé de trente-cinq ans, soumis à des alternatives répétées de service et de chômage, et remis en activité au mépris de la prudence et du règlement.
9 juin.	Tissage à Rupt-sur-Moselle (Vosges).	Tambour d'encolleuse de $1^m,70$ de diamètre et $2^m,10$ de longueur, formé d'une enveloppe cylindrique en tôle de cuivre et de deux fonds en tôle entretoisés. Quatre cercles métalliques disposés à l'intérieur de l'enveloppe en cuivre, et deux reniflards placés dans les fonds, prévenaient l'écrasement lors des condensations intérieures ; d'autre part, [illegible]	Ouverture du cylindre suivant une génératrice très voisine d'une des lignes de brasure. C'est à la situation de cette génératrice (qui se trouvait au point le plus élevé de la rotation du tambour, en regard de la hotte à cheminée surmontant l'appareil) et à la résistance des tirants entretoisant les deux fonds que l'explosion a dû d'être [illegible]	Néant.	Défaut complet de résistance de l'appareil, qui déjà trop faible pour son timbre lors de sa construction, quand la tôle de cuivre mesurait 3 millimètres d'épaisseur, avait été affaibli à l'excès par l'usure progressive de cette tôle, résultat naturel de son emploi.

		[illegible], sauf au droit des [illegible] en fer formant carcasse. L'appareil avait été construit en 1877, éprouvé et timbré à 2 kg. en 1883 et 1887.			
17 juin.	Fabrique de cartons, à la Rochette (Savoie).	Cylindre sécheur en fer de 2m,50 de diamètre, 1m,90 de longueur non compris les fonds, et près de 10 mètres cubes de capacité. Timbre, 2 kg. Les fonds, formés chacun de deux tôles de 7 millimètres d'épaisseur, étaient, dans leur partie centrale, bombés sous une flèche de 210 millimètres, mais à leur pourtour ils étaient plats et reliés au corps cylindrique par des cornières en fer de 13 millimètres d'épaisseur. Ils n'étaient ni confortés, ni entretoisés l'un à l'autre (Pl. 9, *fig.* 16). Construit en 1893, l'appareil fonctionnait d'ordinaire sous une pression de 1 kg. 1/2, qui ne semble pas avoir été dépassée.	Le 20 mai 1897, une fente de 0m,08 à 0m,10 de longueur se produisit à l'angle d'une cornière ; on chercha à y remédier par un matage de la rivure. L'explosion se produisit moins d'un mois après (Pl. 9, *fig.* 17, 18, 19).	Deux personnes grièvement brûlées (une jeune fille de seize ans et un ouvrier).	L'explosion a eu pour cause première la construction vicieuse de ce tambour de 2m,50 de diamètre, dont les fonds bombés au centre, mais plats au pourtour, non entretoisés, ni confortés, étaient réunis par cornière à la partie cylindrique. Les mouvements de soufflet de ces fonds, résultant des variations de la pression intérieure, devaient naturellement amener, au bout d'un temps plus ou moins long, une fissuration des cornières. Le matage de la cornière, lorsqu'elle prévint, par une fuite, de sa détérioration, ne pouvait qu'aggraver la fissure.
11 juillet.	Usine d'électricité, à Paris.	Chaudière Belleville du type B-7 ; surface de chauffe, 73 mètres carrés.	Ouverture du tube inférieur du 4e élément (à partir de la gauche) le long de sa génératrice inférieure, sur 0m,265 de long, avec bâillement maximum de 32 millimètres ; il y avait emboutissage du métal. Toute la partie inférieure du générateur portait, après l'accident, un vaste coup de feu : tous les tubes étaient oxydés jusqu'à une hauteur variable avec les éléments, maximum pour les 4e et 5e éléments. Pour tous les tubes du bas et une partie des seconds tubes, l'oxydation était	Néant.	Surchauffe par manque d'eau, dont l'enquête, bien qu'effectuée dans la nuit même de l'accident, n'a pu révéler la cause.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
			bleue. Toutes les chevilles du bas étaient fondues. Aucune projection de gaz ni de suie ne s'est produite par les interstices des portes, qui sont restées fermées.		
14 juillet.	Usine d'électricité dans un hôtel, à Paris.	Chaudière Belleville du type B-8. Surface de chauffe, 87 mètres carrés.	Ouverture en boutonnière, suivant la soudure, sur 0m,34 de long et avec bâillement de 38 millimètres, d'un tube de l'élément extrême de droite, à peu près au milieu de la hauteur du faisceau. Le métal était embouti au voisinage de la déchirure (Pl. 9, *fig.* 20 et 21). La chaudière portait, après l'accident, les traces d'un vaste coup de feu. Toutefois la rangée la plus inférieure des tubes était indemne d'oxydation, ainsi qu'une partie de la rangée suivante; le haut du faisceau n'en portait pas beaucoup non plus, bien que quatre chevilles y fussent fondues; mais dans toute la région moyenne les tubes étaient oxydés en bleu pour les rangées les plus voisines du foyer, en rouge pour les rangées élevées. A l'élément extrême de droite, celui du tube rompu, l'oxydation était générale, et les deux chevilles fusibles avaient fondu l'une et l'autre. Un seul vantail des portes de foyer avait été ouvert et le combustible avait été seulement en par- [illegible]	Néant.	Surchauffe dont l'enquête n'a pu reconstituer les causes avec une entière certitude.

	sur l'Erdre, à Nantes (Loire-Inférieure).	de surface de chauffe, 934 litres de capacité, timbrée à 8 kg.; elle comprenait 113 tubes en fer de 63 millimètres de diamètre intérieur et 1m,30 de longueur. Construite à une époque mal connue, probablement en 1891. Le niveau de l'eau, comme dans toutes les chaudières de ce type, laisse non mouillée la partie supérieure du faisceau; dans ces conditions, la sécurité ne pouvait être assurée qu'au prix de soins particulièrement méthodiques et vigilants.	Ouvertures multiples du tube extrême tribord de la 3e rangée horizontale comptée à partir du haut. Ces ouvertures étaient irrégulièrement réparties sur une région du tube placée assez près de la plaque tubulaire : la première ouverture était à 205 millimètres de cette plaque et la dernière à 413 millimètres. Dans cette région, le tube, d'une épaisseur primitive de 3 millimètres, paraît-il, était aminci d'une manière excessive et presque réduit à l'état de dentelle. Ce tube avarié et les autres tubes examinés dans l'enquête présentaient sur leur surface intérieure une couche très adhérente de dépôts salins et argileux, atteignant 4 millimètres en moyenne et 6 millimètres en certains points et résistant à l'action du burin sous le choc du marteau.	Un mousse âgé de quatorze ans mortellement brûlé.	Corrosion profonde, principalement extérieure, qui avait réduit d'une manière excessive, et en certains points jusqu'à néant, l'épaisseur d'un tube de la chaudière.
17 juillet.	Fonderie, à Toulouse (Haute-Garonne).	Chaudière cylindrique verticale, à foyer intérieur et bouilleurs croisés (Pl. 10, *fig.* 1). Le foyer avait 0m,88 de diamètre et se terminait à sa partie supérieure par un ciel en tôle emboutie, du centre duquel partait une cheminée axiale de 0m,20 de diamètre. Construite à une date inconnue. Timbrée à 6 kg. en 1876 et en 1885, et à 3 kg. en juin 1896.	L'accident a consisté dans la rupture du ciel du foyer, qui a cédé (Pl. 10, *fig.* 2 et 3) sur une étendue de 0m,12 à 0m,15 à la rivure de la collerette de cheminée et s'est déchiré sur le bord de la collerette et dans différents sens. La tôle de la collerette s'est elle-même crevassée sur 0m,25. Au point où la rupture avait commencé, la tôle était complètement usée ou rongée par la rouille; elle était réduite de 7 à 8 millimètres (épaisseur primitive) à 1mm,5 ou 2 millimètres; les autres parties endommagées n'avaient que 2 millimètres à 2mm,5 d'épaisseur. Le générateur fut lancé en l'air.	Le chauffeur mortellement et le patron grièvement brûlés.	Rupture d'un ciel de foyer affaibli par une corrosion profonde du côté du feu. Il est possible, mais non démontré, que la cause déterminante de l'avarie ait été un manque d'eau. La face inférieure du ciel du foyer, sur laquelle portait la corrosion, était inaccessible à l'inspection directe, par suite de la disposition des bouilleurs croisés. Mais il n'est point prouvé qu'un sondage au marteau, opéré sur la face supérieure et accessible du ciel, n'eût point manifesté l'affaiblissement de la tôle.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
19 juillet.	Battage des grains à Crémieu (Isère).	Chaudière locomobile cylindrique, verticale, avec foyer intérieur à section carrée que traversait un faisceau croisé de tubes bouilleurs horizontaux. Timbre, 7 kg. Le foyer, construit en tôle de 12 millimètres, mesurait horizontalement $0^m,60 \times 0^m,60$, et sa hauteur était $1^m,12$: il était rectangulaire sur toute sa hauteur. A sa base, il était rivé sur une semelle inférieure qui le reliait au pourtour inférieur du corps cylindrique. Les tubes bouilleurs, qui traversaient horizontalement ce foyer, avaient $0^m,08$ de diamètre ; ils étaient au nombre de 35 et disposés en 7 rangées horizontales de 5 tubes chacune, se succédant alternativement dans deux sens perpendiculaires ; ils laissaient entre eux de faibles intervalles ($0^m,033$ au plus). (Pl. 10, *fig.* 4 et 5). Sur les trois faces autres que celle évidée et armaturée par le gueulard, la portion de paroi plane, sans tubes, du foyer n'était raidie que par une entretoise formée d'un boulon unique (Pl. 10, *fig.* 6), placé au milieu de la paroi et à $0^m,26$ au-dessus de la base. — L'appareil datait de 1895.	Rupture et bombement de la partie basse d'une des faces planes du foyer. L'entretoise s'est rompue suivant une section oblique au voisinage de sa tête terminale, côté foyer : la tôle s'est rompue dans les faibles intervalles laissés entre eux par les tubes à la limite supérieure de cette partie plane (Pl. 10, *fig.* 7, 8 et 9). La porte du foyer a été ouverte et tordue, la grille et le cendrier ont été en partie brisés, la cheminée tordue et arrachée ; la locomobile s'est déplacée de 3 mètres, bien que calée aux roues d'arrière. Le combustible projeté a mis le feu à la batteuse, aux bâtiments de ferme et à des meules de blé.	Sept personnes blessées, mais sans gravité.	La partie de face plane non tubulaire qui s'est rompue, mesurant $0^m,60$ de largeur et $0^m,45$ au moins de hauteur, ce qui correspondait sous la pression du timbre à une charge totale de près de 20 tonnes, n'avait pour la raidir qu'une entretoise unique, formée d'un boulon ; de plus, le bord supérieur du rectangle était affaibli dans une très forte proportion par le rapprochement des trous de la partie tubulaire de la face plane. Dans ces conditions, le foyer était constitué d'une manière vicieuse, et ce vice de construction peut suffire à expliquer l'accident. L'hypothèse d'un excès de pression n'a pas été prouvée par l'enquête, et trouve même une contre-indication dans ce fait que, peu avant l'explosion, la machine avait dû être arrêtée faute de vapeur.
20 juillet.	Tissage de coton, [illegible]	Tambour sécheur de 392 litres de capacité, timbré à 3 kg. Construit [illegible]	Séparation d'un des fonds qui s'est détaché tout d'une pièce et est tombé sans être brisé, tandis que le reste [illegible]	Dégâts matériels peu importants.	Défaut de solidité de l'attache du cylindre avec le fond. Cet assemblage, d'un type [illegible]

		vets à tête fraisée, puis fretté (Pl. 10, *fig.* 10).			d'une admission brusque de vapeur n'est pas nécessaire à l'explication de l'accident.
8 août.	Battage des grains, à Neuvy-Pailloux (Indre).	Chaudière locomobile en forme de ⊢ à foyer intérieur et flamme directe ; $9^{m2},20$ de surface de chauffe, 743 litres de capacité. Le corps cylindrique horizontal mesurait $0^m,57$ de diamètre et $2^m,17$ de longueur ; l'enveloppe du foyer $0^m,72$ de diamètre et $1^m,15$ de hauteur. Construite en 1873 au timbre de 6 kg. Timbre abaissé à 5 kg. en 1894.	L'enveloppe de la chaudière, corps horizontal et enveloppe du foyer, s'est fragmentée en 21 pièces (sans compter les organes du moteur ni les appareils de sûreté), pendant que le système intérieur, foyer et tubes, restait en place. L'enveloppe du foyer s'est rompue circulairement à la naissance du collet par lequel le foyer et son enveloppe portaient sur la semelle à laquelle ils étaient rivés l'un et l'autre (Pl. 10, *fig.* 11, 12, 13, 14 et 15). Les autres lignes de rupture de la partie inférieure de l'enveloppe du foyer contournent le cadre du gueulard et passent par les trois orifices de nettoyage. La séparation de l'enveloppe de foyer et du corps cylindrique s'est faite aussi en partie dans la courbure du rabattu par lequel se faisait la jonction des deux pièces (Pl. 10, *fig.* 16).	L'appareil s'est fragmenté avec violence, mais, grâce à l'éloignement du personnel, il n'y a pas eu d'accident de personne.	Mauvais état de la chaudière, affectée notamment d'une fissure ancienne étendue dans l'embouti de base de l'enveloppe du foyer. Le mauvais état de cette partie se trouvait masqué par une épaisse couche de tartre. Un autre point faible existait au raccordement de l'enveloppe avec le corps cylindrique horizontal, et de ce côté la situation s'était manifestée par une fuite, la veille de l'accident.
11 août.	Usine électrique dans un théâtre, à Paris.	Chaudière Belleville du type C-7, comprenant 7 éléments de 18 tubes de 125 millimètres de diamètre intérieur.	Ouverture du 8e tube (à partir du bas) du 3e élément (à partir de la gauche), sur $0^m,255$ de long avec bâillement de $0^m,056$, suivant la soudure qui était tournée vers le haut ; l'emplacement de l'ouverture était dans la partie arrière et la plus élevée du tube. Le niveau de l'avarie n'était pas très différent de celui de l'index du niveau minimum de l'eau, et précisément l'appareil ne débitait pas de vapeur.	Néant.	L'ouverture du tube suivant sa soudure paraît se rattacher à la position du tube par rapport au niveau de l'eau et aux conditions dans lesquelles se trouvait le générateur lorsqu'il avait à rester sur ses feux sans débiter de vapeur, situation où il était notamment au moment de l'accident.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
20 août.	Battage des grains, à Lezennes (Nord).	Chaudière locomobile horizontale, tubulaire, à flamme directe, avec foyer intérieur d'une forme elliptique en haut et contournée sur les côtés. Capacité totale, 728 litres ; timbre, 5 kg. Age inconnu.	Affaissement du ciel du foyer, qui s'était déchiré transversalement sur 0m,80 de longueur, le long de sa ligne de jonction avec la plaque tubulaire : l'épaisseur primitive de 9 millimètres était réduite à 5 millimètres ou 3mm,5 par une corrosion le long de la ligne de rupture (Pl. 10, *fig.* 17 et 18).	Le chauffeur-mécanicien mortellement brûlé et deux ouvriers brûlés, dont un seul grièvement.	De forme très défectueuse, le ciel du foyer, à la suite d'un long usage, s'était corrodé et fissuré le long de sa ligne de jonction avec la plaque tubulaire; il est possible que des matages aient encore aggravé le mal; il se peut, d'autre part, que cette chaudière, dont les appareils de sûreté étaient en désordre et non conformes aux prescriptions réglementaires, ait fonctionné fréquemment à des pressions supérieures au timbre et que son ciel de foyer ait eu parfois à souffrir d'abaissements du plan d'eau.
29 août.	Usine métallurgique à Neuves-Maisons (Meurthe-et-Moselle).	Chaudière chauffée au gaz des hauts-fourneaux, cylindrique, horizontale, à flamme renversée : elle comprenait un corps principal supérieur de 15m,10 de long, formé de 15 viroles emboîtées cylindriquement, et un corps inférieur relié au premier par quatre communications.	La troisième virole du corps principal, à partir de l'avant, s'est déchirée ; la déchirure a commencé à la partie inférieure, suivant une génératrice, puis elle s'est bifurquée vers les deux extrémités de cette génératrice à 0m,15 environ de distance des rivures circulaires liant cette virole aux deux viroles voisines, et la tôle s'est développée, par arrachement de ces deux rivures, suivant la ligne des rivets. Cette tôle déroulée a été projetée ; il en a été de même des deux viroles d'avant, pendant que le reste du générateur [illegible]	Néant.	L'accident paraît avoir été la conséquence d'une surchauffe par manque d'eau.

					quête, imputable au défaut d'avis de l'accident, n'a pas permis de préciser autrement l'explication.
30 août.	Fabrique de lacets, à Saint-Chamond (Loire).	Tambour sécheur, cubant 346 litres, composé d'un cylindre en cuivre galvanisé de 3 millimètres d'épaisseur, $0^m,76$ de diamètre et $0^m,765$ de longueur. Les deux extrémités du cylindre étaient fermées par deux disques en fonte de 16 millimètres d'épaisseur, renforcés par des nervures dans leur partie centrale et munis chacun d'une bride périphérique, sur laquelle le cylindre avait été d'abord assujetti par six boulons, puis serré par une frette posée à chaud (Pl. 11, *fig.* 1). La virole de cuivre ne présentait pas à ses extrémités de bourrelets obtenus par matage et capables d'empêcher le glissement de la frette vers l'extérieur; les portées cylindriques des fonds et de la frette n'avaient pas non plus, dans le même but, été rainurées (Pl. 11, *fig.* 2). L'appareil, acheté à l'étranger en 1894, n'avait été ni éprouvé ni déclaré.	L'appareil venait d'être remis en service à la suite d'un arrêt de vingt minutes. L'un des fonds se brisa en douze morceaux (Pl. 11, *fig.* 3), pendant que le reste du tambour reculait violemment.	Une contremaîtresse tuée sur le coup; deux ouvrières blessées, dont une grièvement. Dégâts matériels peu importants.	Excès de pression résultant des conditions défectueuses de l'installation et du service de l'appareil, qui recevait la vapeur de chaudières timbrées à 6 kg. par un tuyau muni d'une soupape insuffisante, et se trouvait exposé à subir des pressions exagérées eu égard à sa résistance.
1er sept.	Battage des grains, à Sermaises (Loiret).	Chaudière locomobile horizontale, à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire amovibles. Le retour de flamme a lieu par 12 tubes à fumée en laiton, dont 10 de $0^m,07$ et 2 de $0^m,05$ de diamètre extérieur. La chaudière, timbrée à 7 kg., a 6 mètres carrés de surface de chauffe et 600 litres de capacité. L'appareil a dû être mis en service en 1882 et ne semble pas avoir été l'objet de réparations depuis cette époque.	Un des tubs de $0^m,07$ de diamètre extérieur s'est rompu à l'extrémité d'entrée des gaz chauds. Ce tube avait 2 millimètres à 2 millimètres 1/4 d'épaisseur primitive. Sa moitié supérieure s'est fragmentée sur une longueur de $0^m,22$. L'épaisseur, sur les bords des parties rompues, était de $1^{mm},75$ à 2 millimètres. Dans la même région, la moitié inférieure du tube était aplatie et portait une fissure transversale et deux fissures longitudinales. Il y a eu : 1° refoulement	Le chauffeur frappé d'une incapacité de travail de dix à quinze jours.	Diminution de résistance à laquelle les tubes à fumée sont sujets, du côté de l'entrée des gaz chauds, au bout d'un certain temps de service.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
			des gaz chauds par l'ouverture du cendrier dépourvu de porte : de là brûlure du chauffeur ; 2° projection de flammèches par la cheminée dépourvue de grille protectrice : d'où inflammation de meules de céréales.		
1er sept.	Peignage et filature, à Tourcoing (Nord).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs. Surface de chauffe, 68 mètres carrés ; capacité, 22 mètres cubes ; timbre, 7 kg. Les bouilleurs ont 0m,80 de diamètre et 10 mètres de longueur. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un flotteur magnétique : le tube de verre était obstrué par le reploiement de la bague de caoutchouc inférieure ; le flotteur magnétique était détérioré ; de plus, le tube de verre n'était pas normalement sous les yeux de l'ouvrier chargé de l'alimentation, par suite de l'existence d'une cloison séparant de la chambre de chauffe la plateforme supérieure du massif.	Ouverture du bouilleur de gauche à la partie inférieure de sa virole d'avant, avec formation d'une poche et coloration bleue caractéristique d'un coup de feu. Le bouilleur de droite était également bleui, quoique à un degré moindre. Absence d'effets dynamiques, si ce n'est ébranlement de la maçonnerie de l'appareil.	Chauffeur mortellement et aide-chauffeur grièvement brûlés.	Surchauffe par manque d'eau, attribuable au mauvais état des appareils indicateurs du niveau de l'eau et à la défectuosité générale du service. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau donnaient l'un et l'autre des indications trompeuses ; de plus, l'un d'eux était placé hors de la vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation. D'autre part, cet accident a pu devoir en partie la gravité de ses conséquences à l'inexécution des conditions (amélioration des issues de la chaufferie) auxquelles avait été subordonnée l'autorisation de déroger à l'article 1er du décret du 29 juin 1886.
12 sept.	Chemin de fer, près de la gare des Laumes [illegible]	Chaudière locomotive, dans laquelle le tube à fumée qui s'est rompu était un tube de fer rabouté en cuivre rouge du côté du foyer et [illegible]	Le tube s'est rompu à 40 centimètres de la plaque tubulaire du foyer, dans la partie fer, en dehors du raboutage [illegible] de la section de [illegible]	Mécanicien sérieusement brûlé (trente-huit jours d'incapacité de travail).	Amincissement local du côté extérieur de la paroi en fer du tube.

		à base circulaire et à axe vertical, terminé à chaque extrémité par un fond bombé ; elle renferme à son intérieur deux plaques tubulaires formant diaphragmes horizontaux et placées, l'une au bas de la partie cylindrique, l'autre à une certaine distance au-dessus. Ces plaques tubulaires, en bronze, sont reliées entre elles par un faisceau de tubes en laiton, et au centre par un gros tube ; l'espace compris entre les deux plaques tubulaires, une portion de la paroi cylindrique de la caisse et les parois convexes des tubes est dénommé espace intertubulaire ; le reste de la capacité de la caisse est désigné sous le nom de calandre. La caisse n° 2 mesurait 4m,50 de diamètre, 3m,85 de hauteur cylindrique ; ses plaques tubulaires intérieures étaient distantes de 1m,40 l'une de l'autre. Capacité, 68 mètres cubes. La partie cylindrique était en tôle de fer de 16 millimètres d'épaisseur, les plaques tubulaires en bronze de 26 millimètres ; les tubes en laiton, au nombre de 3.760, mesuraient 5 centimètres de diamètre, et le gros tube central, 65 centimètres. Le fond bombé inférieur, en fonte, de 25 à 27 millimètres d'épaisseur, se composait de deux parties, l'une périphérique, l'autre centrale. La partie cylindrique en tôle était cerclée, à sa partie inférieure, par une cornière en fer dont l'aile horizontale formait bride (Pl. 11, *fig.* 5) ; le fond en fonte se terminait lui-même, à son pourtour, par une bride horizontale ; ces deux brides, respec-	... paraissent exister, dans la section de rupture, sur une étendue correspondant à neuf boulons de la bride du pourtour. Des fissures affectaient également les parois en fonte des caisses n°s 3 et 5 de la série.	vement.	... dispositions de l'appareil : la matière, la forme et l'épaisseur ne permettaient pas au fond en fonte de supporter impunément des efforts notables de dilatation ou de pression. Les dispositions matérielles de l'installation n'excluaient pas le développement, dans l'espace intertubulaire de cette caisse, d'une pression effective de vapeur pouvant atteindre 7/10 de kilogramme par centimètre carré ; une pression effective égale, à laquelle il faut ajouter la charge du liquide contenu dans l'appareil, pouvait s'ensuivre, en cas de fausse manœuvre tout au moins, dans la calandre de cette caisse. D'autre part, fausse manœuvre, ayant consisté à laisser ouverte l'admission des vapeurs d'échappement à l'espace intertubulaire de la caisse, alors que toute aspiration de la vapeur formée dans la calandre avait cessé par suite de l'arrêt de la pompe du condenseur, ainsi que toute circulation des jus.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		tivement de 31 et 50 millimètres d'épaisseur, étaient évidées, l'une sur 4 millimètres, l'autre sur 17 millimètres de hauteur, près de la partie intérieure de l'appareil, pour encastrer entre elles le bord circulaire de la plaque tubulaire inférieure dont l'épaisseur était, en vue de l'assemblage, réduite à son pourtour de 26 à 23 millimètres. Un jeu de 9 millimètres dans le sens du rayon, était ménagé autour de la plaque tubulaire. L'assemblage était fait par 96 boulons de 25 millimètres distants de 0m,16 d'axe en axe. Cette caisse, construite en 1872, avait fonctionné jusqu'en 1896 comme caisse n° 1 d'un appareil à triple effet.			
25 oct.	Fabrique de draps, à Elbeuf (Seine-Inférieure).	Chaudière Belleville du type C-10 : surface de chauffe, 166 mètres carrés ; capacité, 5 mètres cubes ; timbre, 15 kg. Construite en 1893, elle comprenait 160 tubes vaporisateurs de 115 millimètres de diamètre et de 2m,51 de longueur.	Ouverture d'un tube de la 3e rangée (à partir du bas) du 2e élément (à partir de la droite), dans sa partie arrière, sur une longueur de 0m,49 avec bâillement de 0m,11. Les épaisseurs relevées sur les lèvres de la déchirure variaient de 5mm,1 à 5mm,2. Les portes de boîtes à tubes et de foyer ne sont pas ouvertes.	Un ouvrier très légèrement brûlé.	L'accident a affecté un tube dont la soudure était défectueuse ; ce tube paraît d'ailleurs avoir été surchauffé, sans que l'enquête permette de se prononcer sur la cause de la surchauffe.
1er nov.	Fabrique de lacets, à St-Chamond (Loire).	Chaudière horizontale, à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire amovibles, du type dit « concentrique » et à deux corps superposés. Surface [illegible]	Formation d'une poche et d'une crique au ciel du foyer (Pl. 11, *fig.* 7, 8 et 9). Aucune projection d'eau. Absence d'eau dans l'appareil à [illegible]	Néant.	Surchauffe du ciel du foyer qui s'est trouvé chauffé à sec, le générateur, à la suite d'un nettoyage, n'ayant pas été suffisamment garni d'eau avant l'allumage du [illegible]

		deux [illegible], et surmontée de deux grands corps horizontaux sur lesquels sont greffés, en outre, à l'arrière, deux autres corps cylindriques verticaux (Pl. 11, *fig.* 10). Surface de chauffe, 256 mètres carrés ; capacité, 32 mètres cubes ; timbre, 10 kg. Construite en 1891.	[illegible] 0m,055 de l'extré[illegible], sur une longueur de 0m,30 avec bâillement de 0m,127. Elle paraissait avoir pris naissance vers la génératrice inférieure, à la soudure, en un endroit où le métal avait été faiblement soudé bord à bord, sans recouvrement, sur une longueur de 0m,105. Cet accident a dû, selon toute apparence, la gravité de ses conséquences à la libre ouverture des portes de foyer vers l'extérieur, et peut-être à l'absence de fermeture du cendrier, ainsi qu'à la disposition malheureuse de la porte de la chaufferie, s'ouvrant du dehors au dedans.		[illegible] couvrement, s'est produite vraisemblablement sous l'action d'une surchauffe consécutive à un abaissement du plan d'eau. La production d'un manque d'eau a pu se trouver hâtée par la présence des rallonges servant à localiser les dépôts dans les réservoirs supérieurs de l'appareil (Pl. 11, *fig.* 11).
16 nov.	Minoterie, à Midrevaux (Vosges).	Chaudière cylindrique horizontale, à deux bouilleurs inférieurs, dont l'un légèrement latéral provenant d'une addition à une chaudière à un seul bouilleur. Capacité, 2 mètres cubes ; surface de chauffe, 12 mètres carrés ; timbre, 5 kg. Le bouilleur latéral mesurait 0m,50 de diamètre, 3 mètres de long, 9 millimètres d'épaisseur primitive. Age inconnu : l'addition du bouilleur latéral date de 1865 au moins.	Rupture du bouilleur latéral sur 0m,80 de long suivant la génératrice inférieure, au coup de feu. La chaudière avait été soulevée du côté opposé au bouilleur latéral, tandis que les briques avaient été projetées de l'autre côté par l'eau et la vapeur.	Deux personnes grièvement brûlées. Très faibles dégâts matériels.	Corrosions intérieures profondes par lesquelles la tôle du bouilleur était très affaiblie. Les circonstances qui ont précédé cette rupture et, notamment, la manière dont la pression, descendue presque à zéro, a remonté à la suite de la fermeture de la prise de vapeur, indiquent d'ailleurs qu'à ce moment la chaudière était en manque d'eau.
26 nov.	Fabrique de dentelles et tirettes, à Saint-Quentin.	Chaudière constituée par une marmite en cuivre rouge de 2 millimètres d'épaisseur, 0m,40 de diamètre et 0m,55 de hauteur ; timbre, 2 kg. Le fond inférieur était à peu près plat dans sa partie centrale ; à son pourtour, il était embouti d'abord suivant un congé de forme ordinaire, puis replié en forme d'U renversé (Pl. 11, *fig.* 12 et 13), de telle	L'explosion est survenue une dizaine de minutes après que le contremaître avait vu le manomètre marquer 1 kg. 1/4 ou 1 kg. 1/2. L'avarie a consisté dans la séparation du fond inférieur qui avait pris une forme à contour légèrement elliptique (0m,36 de petit axe). Sur les 5/6 de la périphérie, les têtes plates des rivets avaient été cisaillées ; sur le 1/6	Une personne légèrement blessée n'a même pas subi d'incapacité de travail.	La cause principale paraît avoir été la forme défectueuse et le défaut de rigidité du fond inférieur ; sous l'action de la pression, ce fond s'est déformé et le repli de son pourtour s'est en partie arraché en cisaillant les têtes des rivets, qui n'offraient qu'une faible

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		sorte que les rivets qui le réunissaient à la virole cylindrique avaient leurs deux têtes à l'extérieur de la chaudière : ces rivets en cuivre, au nombre de 32, mesuraient 4mm,5 de diamètre ; leur tête extérieure était en goutte de suif, mais leur tête intérieure était aplatie et n'offrait que 1 millimètre environ d'épaisseur ; dans l'étroit sinus formé par le pli de la tôle et qui contenait ces têtes aplaties, on avait coulé un alliage composé de plomb, d'étain et d'un peu de cuivre. — Fabrication étrangère.	restant, la tôle de cuivre s'était déchirée suivant le sommet de l'U.		résistance, et en partie rompu lui-même au sommet de son angle.
26 déc.	Brasserie, à Dunkerque (Nord).	Bouilleur réchauffeur, cylindrique, de 1 mètre de diamètre et 3m,50 de long, en tôle de fer de 13 millimètres, terminé à l'avant par une tête en fonte de 35 millimètres d'épaisseur, alimenté par une pompe et desservant une seule chaudière dont il pouvait être isolé par un robinet. Timbre, 6 kg.	Rupture de la tête en fonte (Pl. 11, *fig.* 14) suivant le congé de son pourtour. La partie rompue tomba plutôt qu'elle ne fut projetée. La cassure était fraîche.	Néant.	Excès de pression hydraulique résultant vraisemblablement d'une fausse manœuvre des robinets.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

DÉSIGNATION		NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
I. — Par nature d'établissements.				
Mines, carrières et annexes.	Mine de houille	2	5	»
Usines métallurgiques	Hauts-fourneaux	1	»	»
	Fonderie	1	1	1
Agriculture	Battage des grains	5	1	1
Industries alimentaires	Sucrerie	1	7	6
	Minoterie	1	»	2
	Brasseries	3	1	2
Industries chimiques	Usine à gaz	1	»	1
	Usine de vulcanisation du caoutchouc	1	»	»
	Fabrique d'engrais	1	1	1
	Stéarinerie	1	»	1
Tissus et vêtements	Peignage, filature et tissage.	8	4	1
	Fabrique de dentelles	1	»	»
Papeteries, fabriques d'objets divers	Papeterie et cartonnerie	2	4	4
	Fabriques de lacets	2	1	1
Entreprises d'éclairage électrique (**)		8	»	2
Chemins de fer et tramways	Locomotives à vapeur	2	»	2
	Usine génératrice (traction par locomotives sans foyer)	2	»	»
Bateaux et engins flottants	Bateaux à vapeur pour transports divers	2	1	1
Totaux		45	26	26
II. — Par espèce d'appareils.				
1° *Chaudières chauffées en tout ou en partie à l'extérieur :*				
Horizontales non tubulaires	à foyer extérieur, à flamme directe	4	3	3
	à foyer extérieur, à flamme renversée.	2	3	»
	à foyer intérieur	1	»	»
Horizontale semi-tubulaire à foyer intérieur		1	»	»
Verticale non tubulaire, à foyer extérieur (***)		1	»	»
Verticales à foyer intérieur	bouilleurs croisés	1	1	1
	faisceau croisé de tubes bouilleurs.	1	»	»
A petits éléments (tubes d'eau)		15	3	3
2° *Chaudières non chauffées à l'extérieur :*				
Horizontales tubulaires	à flamme directe	5	1	4
	à retour de flamme	3	»	1
3° *Réchauffeur*		1	»	»
4° *Récipients*		10	15	14
Totaux		45	26	26

(*) Ayant eu plus de vingt jours d'incapacité de travail. Pour les blessures moins graves, voir le bulletin détaillé, qui mentionne tous les blessés signalés par l'enquête administrative.

(**) Les quatre ruptures de tubes des 13 au 22 janvier 1897 (Avignon) ont été comptées comme un seul accident.

(***) Marmite de $0^m,40$ de diamètre et $0^m,55$ de hauteur.

III. — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs.

1° *Conditions défectueuses d'établissement :*

Fond en cuivre plié sous un trop court rayon	1	19
Insuffisance d'épaisseur ou de résistance de pièces de cuivre	2	
Forme défectueuse et défaut de rigidité de fonds	2	
Forme défectueuse d'un ciel de foyer intérieur	1	
Foyer intérieur à face plane insuffisamment entretoisée et affaiblie par rapprochement des trous de sa partie tubulaire	1	
Constitution défectueuse de l'assemblage du fond avec la partie cylindrique d'un récipient	1	
Faiblesse d'une tête en fonte de bouilleur	1	
Constitution et dispositions défectueuses d'une caisse d'appareil à multiple effet de sucrerie	1	
Boulons à charnière d'une disposition peu sûre ou de section insuffisante	2	
Insuffisance du nombre des boulons d'attache du tampon non autoclave d'un récipient	2	
Pièces en fonte de mauvaise forme ou prêtant aux dilatations inégales	1	
Tube vaporisateur mal fabriqué	3	
Malfaçon lors de la construction	1	

2° *Conditions défectueuses d'entretien :*

Corrosions	intérieure	d'une tête en fonte de bouilleur	1	19
		d'une tôle de bouilleur	1	
		d'un récipient	1	
	principalement extérieure d'un tube vaporisateur		1	
	profonde, du côté du feu, d'un ciel de foyer intérieur		1	
	d'un corps de chaudière ancien et mal entretenu		1	
	et fissuration d'un ciel de foyer intérieur le long de sa ligne de jonction avec une plaque tubulaire		1	
Fissuration dans l'embouti de la base de l'enveloppe d'un foyer intérieur de locomobile			1	
Fissuration aggravée par matage			1	
Fissuration le long d'une rivure, en dehors de la ligne des trous de rivets, et suivant une ligne de matage			1	
Fatigue et mauvais état d'une rivure circulaire			1	
Fissuration ou usure développée par l'emploi			3	
Usure de tubes à fumée			1	
Amincissement excessif d'un tube à fumée en laiton, dans sa partie raboutée en cuivre			1	
Amincissement local du côté extérieur d'un tube à fumée en fer			1	
Usure et altération du raboutage en cuivre d'un tube à fumée en acier, à ailettes intérieures			1	
Mauvais état du tampon non autoclave d'un récipient			1	

3° *Mauvais emploi des appareils :*

Surchauffe	par manque d'eau	10	18
	par défaut de nettoyage et surmenage	2	
Excès de pression résultant	des conditions d'installation et de service	1	
	de fausse manœuvre	2	
Serrage de joints intempestif		3	
4° *Causes non précisées*			6
TOTAL			62

Nota. — On trouve 62 causes pour 45 accidents, parce que l'accident a été porté comme dû à la coexistence de :

A. — Deux causes dans six cas, savoir : 1° Tube vaporisateur mal fabriqué et surchauffe par défaut de nettoyage et surmenage (25 mars) ; 2° Insuffisance d'épaisseur d'un cylindre de cuivre, et usure développée par l'emploi (9 juin) ; 3° Forme défectueuse d'un ciel de foyer intérieur, et corrosion et fissuration d'un ciel de foyer le long de sa ligne de jonction avec la plaque tubulaire (20 août) ; 4° Constitution et dispositions défectueuses d'une caisse d'un appareil à multiple effet de sucrerie, et excès de pression résultant de fausse manœuvre (14 octobre) ; 5° Surchauffe par manque d'eau, et tube vaporisateur mal fabriqué (5 novembre) ; 6° Corrosion intérieure d'une tôle de bouilleur, et surchauffe par manque d'eau (16 novembre) ;

B. — Trois causes dans quatre cas, savoir : 1° Boulons à charnière d'une disposition peu sûre et de section insuffisante, serrage intempestif, et insuffisance du nombre des boulons (29 janvier) ; 2° Fatigue et mauvais état d'une rivure circulaire, faiblesse, ainsi que corrosion intérieure d'une tête en fonte de bouilleur (5 mars) ; 3° Fond en cuivre plié sous un trop court rayon, malfaçon lors de la construction, et fissuration développée par l'emploi (13 avril) ; 4° Formes défectueuses et défaut de rigidité de fonds, fissuration développée par l'emploi, et aggravée par matage (17 juin) ;

C. — Quatre causes dans un cas, savoir : Boulons à charnière d'une disposition peu sûre, serrage intempestif, mauvais état du tampon, insuffisance du nombre des boulons (28 janvier).

CHRONIQUE.

N° 13

INSTITUTION A LISBONNE

POUR

LE ROYAUME DE PORTUGAL ET POUR SES COLONIES

D'UN

LABORATOIRE D'ÉTUDE ET D'ESSAI DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

Le laboratoire des études et essais de matériaux de construction, institué provisoirement par un arrêté ministériel, en 1886, près de la Direction des travaux du port de Lisbonne et, depuis 1888, près de la Direction de la Circonscription hydraulique siégeant à Lisbonne, vient d'être organisé définitivement par décret royal, sur le rapport du Ministre des travaux publics, du commerce et de l'industrie, le 24 novembre 1898.

En vertu de ce décret, ce service constitue une branche spéciale du service intérieur du ministère des travaux publics, du commerce et de l'industrie, relevant directement de la Direction générale des travaux publics et des mines, sous la dénomination de *Direction des études et essais des matériaux de construction*.

Le rapport présenté à Sa Majesté le Roi, qui précède le décret et lui sert de préface, met bien en lumière l'avantage de développer les études méthodiques des matériaux du pays et de ses colonies, en profitant des éléments déjà existants dans le laboratoire sus-indiqué, lequel, au moyen des rapports précédemment publiés sur

les ciments et chaux hydrauliques déjà essayés, avait préludé au perfectionnement de cette branche de l'industrie nationale.

Le rapport du Ministre fait ressortir l'avantage de poursuivre le but d'obtenir l'unification des procédés d'essai et cite avec éloge les travaux de la grande Commission, nommée à cet effet par le Gouvernement Français, le 9 novembre 1891, ainsi que les travaux des Congrès tenus à Munich, Dresde, Berlin, Vienne, Zurich et Stockholm, dans lesquels le Portugal a été représenté.

La nouvelle Direction aura pour mission :

1° L'étude méthodique et régulière des matériaux du pays et de ses colonies, d'un usage habituel dans la construction ;

2° La détermination des bases uniformes pour l'essai des matériaux d'agrégation et autres à employer dans les services des travaux publics, ainsi que la détermination des éléments d'étude des matériaux de construction dont le Génie officiel aura besoin, soit que la Direction l'exécute par ordre supérieur, soit qu'elle l'entreprenne dans un but scientifique ou économique profitable à l'art de l'ingénieur ;

3° De fonctionner comme établissement auxiliaire de l'Institut industriel et commercial de Lisbonne, dans tout ce qui concerne l'enseignement pratique de l'étude des matériaux ;

4° De prêter son concours pour l'enseignement pratique, dans ce genre d'études, aux missions et aux élèves des établissements officiels d'instruction technique spéciale ;

5° De préparer les travaux qu'il convient d'exécuter, en vertu des Congrès internationaux, pour l'unification générale des procédés d'essai des matériaux de construction ;

6° D'exécuter des essais de matériaux de construction sur la demande des particuliers, moyennant le paiement des taxes fixées dans les tarifs annexés au décret ou

qui pourront être arrêtés à l'avenir par le Gouvernement;

7° De collectionner les documents et renseignements nécessaires pour l'histoire et pour la statistique des matériaux de construction nationaux et aider le Gouvernement dans la réunion de ceux jugés dignes de figurer dans les expositions nationales ou étrangères.

La Direction supérieure du service est confiée à un ingénieur en chef au corps d'ingénieurs des travaux publics et des mines, auquel est adjoint le personnel reconnu nécessaire.

Le décret établit le formulaire pour la demande d'essai, le paiement des taxes, le registre spécial des matériaux, des essais, etc.

Tous les résultats des essais demandés par les particuliers sont consignés dans des certificats signés par l'ingénieur directeur.

Les données obtenues dans l'exécution de tous ces travaux restent acquises au laboratoire, qui peut s'en servir dans un but scientifique ou économique.

La Direction devra publier les résultats de toutes les recherches qui pourraient présenter un intérêt scientifique ou économique.

Lorsque le montant des approvisionnements des matériaux pour les travaux du Ministère des travaux publics sera supérieur à 1.000.000 *reis* (5.555 fr. 55 au pair), les matériaux seront soumis aux essais préalables, dans le laboratoire de la nouvelle direction, au fur et à mesure que ces essais y pourront être exécutés.

Au cas où la Direction des travaux à laquelle l'approvisionnement est destiné possèderait des appareils pour les essais, la direction générale des travaux publics pourra y autoriser l'exécution de ces essais, selon les règles établies dans la Direction nouvellement organisée, et avec application de son tarif spécial.

N° 14

NOTE

SUR DEUX FORMULES RELATIVES

A

L'ÉCOULEMENT PERMANENT ET UNIFORME DES LIQUIDES

Addition à la note de M. Victor FOURNIÉ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées
Insérée dans les *Annales* (1898, 3e trimestre).

La loi de Poiseuille, d'après laquelle le débit de l'eau ou d'autres liquides par un tuyau capillaire est proportionnel à la différence de tension aux extrémités, est applicable aux milieux filtrants. Elle est également applicable à l'éther substratum des courants électriques, et s'appelle dans ce cas la loi d'Ohm, applicable aux courants continus.

Cette concordance méritait d'être indiquée, car elle rend plus étroite une analogie signalée ordinairement sous des réserves peut-être exagérées.

V. Fournié.

20 mars 1899.

N° 15

NOTE

SUR

L'ENDUIT PRÉVU POUR LE MUR DE GARDE DES SETTONS

Par M. P. BREUILLÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le mur de garde du barrage des Settons ne doit avoir que de faibles épaisseurs : 2m,50 à la base et 1m,75 au sommet; aussi, pour soustraire les maçonneries à l'action de l'eau sous pression, on a prévu l'application, sur le parement amont, de l'enduit étanche dont nous allons parler.

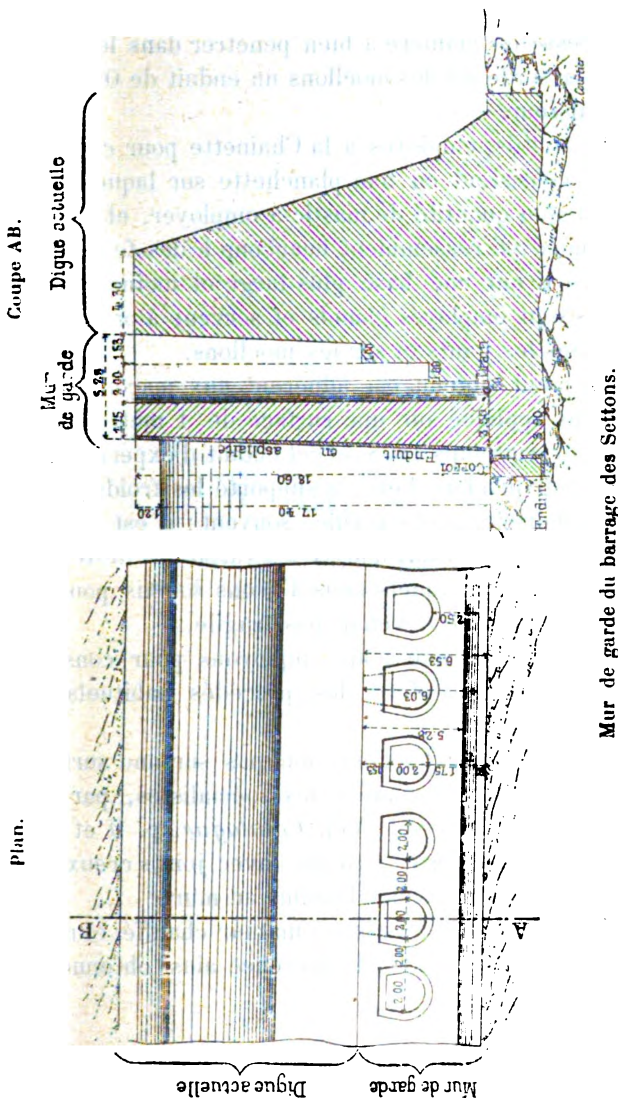
Les expériences faites à la Chainette, au sujet desquelles les *Annales* ont publié une note dans le 4e trimestre de 1898, page 190, ont montré qu'on obtenait un mastic étanche en faisant à chaud et avec toutes les précautions usitées d'ordinaire un mélange composé de :

1/10e de bitume épuré	....	en poids
9/10es de mastic d'asphalte de Seyssel	....	

puis en ajoutant à ce mélange 1/3 de son volume de sable fin bien sec.

L'adhérence complète de ce mastic sur les maçonneries s'obtient facilement. Les mortiers ayant fait prise, on dégrade les joints comme pour un rejointoiement ordinaire, on lave les parements et joints de manière à ne

laisser aucune poussière, puis on les chauffe à une tem-



Mur de garde du barrage des Settons.

pérature difficile à supporter à la main.

Sur le parement ainsi préparé, le mastic bitumineux, chauffé et amené à l'état de pâte malléable, est appliqué et pressé de manière à bien pénétrer dans les joints et à former sur le nu des moellons un enduit de $0^m,02$ à $0^m,03$ d'épaisseur.

Les outils, employés à la Chainette pour cette application, consistent en une planchette sur laquelle on place une faible quantité de mastic à employer, et en des outils spéciaux qui ressemblent beaucoup à des fers à repasser, mais qui ont une base plus large et moins épaisse. Ces outils sont employés chauds et servent à presser le mastic dans les joints et sur les moellons.

L'enduit obtenu est adhérent aux maçonneries. Nous l'avons appliqué sur une surface de 1 mètre carré environ, au printemps 1898, et cet enduit d'expérience, exposé au soleil pendant l'été, a supporté les froids de l'hiver; son adhérence a été vérifiée souvent; il est en aussi bon état qu'il y a un an, malgré les variations de température et les chocs auxquels nous l'avons soumis pour voir s'il n'était pas ou ne devenait pas fragile.

Le procédé que nous employons pour constituer un enduit étanche diffère des procédés habituels en deux points :

Le mastic est appliqué non pas sur une surface lisse, comme le recommandent les spécialistes, par exemple les mines de Seyssel (Voir *Catalogue*, p. 9 et 19), mais sur une maçonnerie rugueuse, avec joints creux, permettant de bien accrocher l'enduit au mur.

L'application est faite sur un mur chauffé, et non sur de la maçonnerie froide; l'adhérence ainsi obtenue est très grande.

Auxerre, mars 1899.

N° 16

Longueur des Routes nationales par département au 1er janvier 1899.

	DÉPARTEMENTS	LONGUEUR EN 1898			
		A L'ÉTAT D'ENTRETIEN			EN LACUNE
		Chaussées empierrées	Chaussées pavées et autres	Totale	
		mètres	mètres	mètres	mètres
1	Ain	451.494	316	451.810	»
2	Aisne	430.396	182.976	613.372	»
3	Allier	494.912	5.273	500.185	»
4	Alpes (Basses-)	575.653	515	576.168	7.70
5	Alpes (Hautes-)	386.677	»	386.677	»
6	Alpes-Maritimes	429.415	4.025	433.440	50.735
7	Ardèche	490.876	5.045	495.921	»
8	Ardennes	378.143	8.779	386.922	»
9	Ariège	272.182	»	272.182	»
10	Aube	370.012	8.825	378.837	»
11	Aude	364.785	2.285	367.070	»
12	Aveyron	592.345	102	592.447	4.600
13	Belfort (Territoire de)	43.184	300	43.484	»
14	Bouches-du-Rhône	264.450	19.186	283.636	»
15	Calvados	429.133	10.623	439.756	»
16	Cantal	383.406	»	383.406	»
17	Charente	347.871	1.787	349.658	»
18	Charente-Inférieure	433.009	4.454	437.463	»
19	Cher	485.743	7.005	492.748	»
20	Corrèze	372.045	185	372.230	»
21	Corse	1.132.458	»	1.132.458	»
22	Côte-d'Or	706.164	8.864	715.028	»
23	Côtes-du-Nord	482.398	4.100	486.498	»
24	Creuse	337.829	»	337.829	»
25	Dordogne	367.689	512	368.201	»
26	Doubs	300.552	8.076	308.628	»
27	Drôme	306.867	1.524	308.391	»
28	Eure	450.745	17.683	468.428	»
29	Eure-et-Loir	355.861	21.313	377.174	»
30	Finistère	407.772	11.031	418.803	»
31	Gard	534.255	1.747	536.002	6.906

LONGUEUR EN 1899				OBSERVATIONS
ÉTAT D'ENTRETIEN		EN LACUNE	TOTALE	On a composé en chiffres gras les nombres relatifs à des longueurs qui ont été modifiées. Les motifs des changements sont indiqués dans cette colonne.
Chaussées pavées et autres	Totale			
mètres	mètres	mètres	mètres	
316	451.810	»	451.810	
181.[illegible]	613.372	»	613.372	Convertissement de 1.195m de pavage en empierrement et de 25 mètres d'empierrement en pavage.
5.273	500.185	»	500.185	
515	588.956	12.854	601.810	Augmentation de 17.942 mètres, savoir : 18 mètres par suite de nouveau chaînage de la route n° 210 et 17.924 mètres, longueur de la route n° 211 dans les Basses-Alpes, classée par la loi du 17 avril 1898.
»	396.685	»	396.685	Diminution de 12 mètres par suite de rectification de la route n° 85 aux abords du pont de Rioubel.
4.025	451.093	59.728	510.821	Augmentation de 26.646 mètres, longueur de la route n° 211 dans les Alpes-Maritimes, classée par la loi du 17 avril 1898.
5.045	495.921	»	495.921	
8.819	386.922	»	386.922	Convertissement de 40 mètres d'empierrement en pavage.
»	272.182	»	272.182	
8.[illegible]	378.837	»	378.837	Convertissement de 465 mètres de pavage en empierrement.
2.285	367.045	»	367.045	Diminution de 25 mètres par suite de rectification de la route n° 113 dans les côtes de la Rousselle.
102	592.550	4.600	597.150	Augmentation de 103 mètres par suite de la rectification de la route n° 88 dans la côte de la Mouline.
300	43.484	»	43.484	
19.186	283.636	»	283.636	
10.623	439.756	»	439.756	
»	383.406	»	383.406	
1.787	349.658	»	349.658	
4.454	437.463	»	437.463	
7.005	492.748	»	492.748	
185	372.230	»	372.230	
»	1.132.458	»	1.132.458	
8.516	714.929	»	714.929	Diminution de 99 mètres, savoir : 72 mètres par suite d'erreur reconnue dans la longueur de la route n° 6 et 27 mètres pour rectification de la route n° 65 au droit de la maison Lévêque. — Convertissement de 348 mètres de pavage en empierrement.
4.100	486.498	»	486.498	
»	337.829	»	337.829	
512	368.201	»	368.201	
8.076	308.628	»	308.628	
1.524	308.391	»	308.391	
17.683	468.428	»	468.428	
18.921	377.174	»	377.174	Convertissement de 2.392 mètres de pavage en empierrement.
19.[illegible]	419.022	»	419.022	Augmentation de 219 mètres de longueur de l'annexe de Douarnenez (route n° 165). — Convertissement de 192 mètres de pavage en empierrement.
2 [illegible]	536.002	6.906	542.908	Convertissement de 536 mètres d'empierrement en pavage.

	DÉPARTEMENTS	LONGUEUR EN 1898			
		A L'ÉTAT D'ENTRETIEN			EN LACUNE
		Chaussées empierrées	Chaussées pavées et autres	Totale	
		mètres	mètres	mètres	mètres
32	Garonne (Haute-)	329.872	4.587	334.459	16.184
33	Gers	419.482	»	419.482	»
34	Gironde	272.820	118.118	390.938	»
35	Hérault	357.343	817	358.160	»
36	Ille-et-Vilaine	713.365	11.856	725.221	»
37	Indre	402.448	1.778	404.226	»
38	Indre-et-Loire	313.299	4.062	317.361	»
39	Isère	538.874	»	538.874	»
40	Jura	355.168	2.004	357.172	»
41	Landes	378.254	78.812	457.066	»
42	Loir-et-Cher	301.468	4.162	305.630	»
43	Loire	316.861	23.079	339.940	»
44	Loire (Haute-)	356.790	133	356.923	14.613
45	Loire-Inférieure	564.625	8.868	573.493	»
46	Loiret	421.198	14.965	436.163	»
47	Lot	277.810	»	277.810	»
48	Lot-et-Garonne	364.230	2.014	366.244	»
49	Lozère	475.106	»	475.106	29.700
50	Maine-et-Loire	542.349	21.311	563.660	»
51	Manche	368.454	9.294	377.748	»
52	Marne	552.244	38.026	590.270	»
53	Marne (Haute-)	411.478	»	411.478	»
54	Mayenne	481.869	2.920	484.789	»
55	Meurthe-et-Moselle	439.832	10.169	450.001	»
56	Meuse	507.517	1.936	509.453	»
57	Morbihan	576.503	5.330	581.833	14.300
58	Nièvre	467.695	6.853	474.548	»
59	Nord	61.929	527.409	589.338	»

LONGUEUR EN 1899				OBSERVATIONS
L'ÉTAT D'ENTRETIEN		EN LACUNE	TOTALE	On a composé en chiffres gras les nombres relatifs à des longueurs qui ont été modifiées. Les motifs des changements sont indiqués dans cette colonne.
Chaussées pavées et autres	Totale			
mètres	mètres	mètres	mètres	
4.587	334.459	16.184	350.643	
»	419.482	»	419.482	
118.118	390.938	»	390.938	
[illegible]	358.160	»	358.160	Convertissement de 75 mètres d'empierrement en pavage.
11.772	725.221	»	725.221	Convertissement de 84 mètres de pavage en empierrement.
1.778	404.226	»	404.226	
4.167	317.361	»	317.361	Convertissement de 105 mètres d'empierrement en pavage d'asphalte.
»	538.874	»	538.874	
2.004	357.172	»	357.172	
77.[illegible]	457.066	»	457.066	Convertissement de 1.485m,00 de pavage en empierrement et de 18m,00 d'empierrement en pavage.
4.162	305.630	»	305.630	
23.079	339.940	»	339.940	
133	[illegible]	[illegible]	371.536	Mise à l'état d'entretien de 4.542 mètres de la route n° 88 *bis* entre Vorey et le Chambon.
8.868	573.493	»	573.493	Y compris 291 mètres de pavage du quai du port Maillard à Nantes, entretenus par la ville et le service de la Navigation de la Loire.
13.[illegible]	436.163	»	436.163	Convertissement de 1.426 mètres de pavage en empierrement.
»	277.810	»	277.810	
2.[illegible]	366.244	»	366.244	Convertissement de 8 mètres de pavage en empierrement.
»	475.106	29.700	504.806	
21.[illegible]	563.660	»	563.660	Convertissement de 327 mètres d'empierrement en pavage.
9.[illegible]	377.863	»	377.863	Convertissement de 310 mètres d'empierrement en pavage ; report de 14 mètres de pavage dans la colonne des empierrements pour rectification d'erreur et augmentation de 115 mètres d'empierrement, par suite de nouveau chaînage de la route n° 176.
37.[illegible]	590.270	»	590.270	Convertissement de 280 mètres de pavage en empierrement et de 124 mètres d'empierrement en pavage. Rectification d'erreur comportant le report de 17 mètres d'empierrement dans la colonne des pavages.
»	411.478	»	411.478	
2.920	484.789	»	484.789	
[illegible]	450.001	»	450.001	Convertissement de 11 mètres d'empierrement en pavage.
1.936	509.453	»	509.453	
5.372	[illegible]	14.300	[illegible]	Augmentation de 424 mètres, par suite de déviation de la route n° 168 aux abords de la gare de Pontivy, lors de la construction de la ligne d'Auray à Pontivy.
6.853	474.548	»	474.548	
[illegible]	[illegible].311	»	[illegible].311	Diminution de 13 + 14 = 27 mètres par suite de rectification dans la traversée des anciennes fortifications de Douai (portes de Lille et de Valenciennes).

	DÉPARTEMENTS	LONGUEUR EN 1896			
		A L'ÉTAT D'ENTRETIEN			EN LAC[illegible]
		Chaussées empierrées	Chaussées pavées et autres	Totale	
		mètres	mètres	mètres	mètres
60	Oise	416.889	184.915	601.804	»
61	Orne	453.261	5.921	459.182	»
62	Pas-de-Calais	433.497	250.361	683.858	»
63	Puy-de-Dôme	471.372	1.972	473.344	»
64	Pyrénées (Basses-)	431.011	4.027	435.038	[illegible]
65	Pyrénées (Hautes-)	308.003	92	308.095	[illegible]
66	Pyrénées-Orientales	329.534	1.134	330.668	[illegible]
67	Rhône	205.185	22.350	227.535	»
68	Saône (Haute-)	334.907	2.618	337.525	»
69	Saône-et-Loire	575.759	14.037	589.796	»
70	Sarthe	395.390	8.955	404.345	»
71	Savoie	337.056	243	337.299	»
72	Savoie (Haute-)	309.143	3.174	312.317	»
73	Seine	20.795	95.985	116.780	»
74	Seine-Inférieure	560.643	27.240	587.883	»
75	Seine-et-Marne	420.093	97.220	517.313	»
76	Seine-et-Oise	435.474	300.331	735.805	»
77	Sèvres (Deux-)	465.201	485	465.686	»
78	Somme	555.568	71.938	627.506	»
79	Tarn	333.465	1.283	334.748	»
80	Tarn-et-Garonne	249.861	2.764	252.625	»
81	Var	285.505	5.148	290.653	[illegible]
82	Vaucluse	156.821	860	157.681	»
83	Vendée	539.435	»	539.435	»
84	Vienne	384.398	84	384.482	»
85	Vienne (Haute-)	375.830	1.151	376.981	»

LONGUEUR EN 1899				OBSERVATIONS
[ét]at d'entretien		EN LACUNE	TOTALE	On a composé en chiffres gras les nombres relatifs à des longueurs qui ont été modifiées. Les motifs des changements sont indiqués dans cette colonne.
[C]haussées pavées [e]t autres	Totale			
mètres	mètres	mètres	mètres	
180.250	601.804	»	601.804	Convertissement de 4.665 mètres de pavage en empierrement.
5.921	459.182	»	459.182	
250.361	683.858	»	683.858	
1.781	473.344	»	473.344	Convertissement de 191 mètres de pavage en empierrement.
4.027	**435.065**	**4.318**	**439.383**	Augmentation de 27 mètres par suite de rectification de la route n° 134 *bis* dans la côte du Hourcq. — Augmentation de 190 mètres de la lacune de la même route d'après le projet définitif adjugé en 1898.
92	308.095	39.003	347.098	
1.274	330.668	7.170	337.838	Report de 140 mètres d'empierrement dans la colonne des passages pour rectification d'erreur.
22.350	227.535	»	227.535	Y compris 1.927 mètres de passage des routes n°s 7 et 83 entretenus par la ville de Lyon.
2.618	**337.979**	»	**337.979**	Augmentation de 454 mètres, savoir : 173 mètres par suite de la rectification de la route n° 57 à la sortie de Saulx et 281 mètres par suite de la rectification de la route n° 67 dans la côte des Sabotiers.
13.667	589.796	»	589.796	Convertissement de 370 mètres de pavage en empierrement.
8.955	404.345	»	404.345	Y compris 640 mètres de l'avenue Thiers, route n° 23, au Mans, entretenus par la ville.
243	337.299	»	337.299	
2.671	**312.336**	»	**312.336**	Augmentation de longueur de 19 mètres par suite de rectification de la route n° 5 dans la traverse d'Evian. Convertissement de 503 mètres de pavage en empierrement.
96.030	116.780	»	116.780	Convertissement de 45 mètres d'empierrement en pavage.
29.588	587.883	»	587.883	Convertissement de 2.343 mètres d'empierrement en pavage.
91.635	517.313	»	517.313	Convertissement de 5.585 mètres de pavage en empierrement.
286.704	**735.854**	»	**735.854**	Convertissement de 4.431 mètres de pavage en empierrement et de 744 mètres d'empierrement en pavage. Un nouveau chaînage de la route n° 19 a donné 11 mètres d'empierrement en moins et 60 mètres de pavage en plus, soit une augmentation de longueur de 49 mètres.
485	465.686	»	465.686	
72.198	627.506	»	627.506	Convertissement de 1.036 mètres d'empierrement en pavage et 776 mètres de pavage en empierrement.
1.283	334.748	»	334.748	
2.764	252.625	»	252.625	
5.207	290.653	4.012	294.665	Convertissement de 59 mètres d'empierrement en pavage.
860	157.681	»	157.681	
»	539.435	»	539.435	
84	384.482	»	384.482	
1.151	376.981	»	376.981	

	DÉPARTEMENTS		LONGUEUR EN 1898			
			A L'ÉTAT D'ENTRETIEN			EN LACUNE
			Chaussées empierrées	Chaussées pavées et autres	Totale	
			mètres	mètres	mètres	mètres
86	Vosges		409.233	6.084	415.317	»
87	Yonne		512.335	16.767	529.102	»
	Totaux		35.652.868	2.362.173	38.015.041	199.05[illegible]
88	Alger	Est	319.242	5.541	324.783	95.76[illegible]
89		Ouest	434.533	51	434.584	218.30[illegible]
90	Constantine	Constantine	582.098	»	582.098	45.16[illegible]
91		Bône	142.204	»	142.204	»
92		Philippeville	100.241	»	100.241	»
93	Oran		789.586	574	790.160	190.02[illegible]
	Totaux		2.367.904	6.166	2.374.070	549.15[illegible]

LONGUEUR EN 1899				OBSERVATIONS
…TAT D'ENTRETIEN		EN LACUNE	TOTALE	On a composé en chiffres gras les nombres relatifs à des longueurs qui ont été modifiées. Les motifs des changements sont indiqués dans cette colonne.
Chaussées pavées et autres	Totale			
mètres	mètres	mètres	mètres	
6.067	415.317	»	415.317	Report de 17 mètres de pavage dans la colonne des empierrements, savoir: 11 mètres pour réparation d'erreur et 6 mètres par suite de la rectification de la route n° 64 à Bains.
16.490	529.102	»	529.102	Convertissement de 277 mètres de pavage en empierrement.
2.343.499	38.051.271	208.846	38.260.117	
8.907	**325.772**	**94.774**	420.546	Mise à l'état d'entretien de 989 mètres de la route n° 8. — Convertissement de 3.366 mètres d'empierrement en pavage.
479	434.584	218.200	652.784	Convertissement de 428 mètres d'empierrement en pavage.
»	582.098	45.165	627.263	
»	142.204	»	142.204	
»	**100.267**	»	**100.267**	Augmentation de 26 mètres résultant d'un nouveau chaînage de la route n° 9.
574	**794.466**	**185.724**	980.184	Mise à l'état d'entretien de 4.300 mètres de la route n° 6.
9.960	2.379.385	543.863	2.923.248	

BIBLIOGRAPHIE.

N° 17

Histoire de l'Architecture.

Paris, 1899 (*).

Par M. Auguste CHOISY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. — Compte rendu par M. F. de DARTEIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Grâce aux quinze années de labeur acharné employées par M. Choisy à composer son *Histoire de l'Architecture*, nous possédons enfin un livre digne de porter un pareil titre. Dans ses deux volumes, contenant ensemble plus de 1.400 pages, illustrées par de très nombreux dessins intercalés dans le texte, l'auteur nous fait assister au développement de l'art des constructions, depuis ses origines les plus reculées, saisies dans les âges préhistoriques, jusqu'à ses manifestations contemporaines. Le premier volume embrasse l'architecture de l'antiquité, terminée à l'affranchissement du christianisme. Le second comprend l'architecture du moyen âge et celle des temps modernes. Suivons d'abord, sous la conduite de l'auteur, la filiation des styles.

Les deux arts primitifs sont ceux de l'Égypte et de la Chaldée, ce dernier comprenant l'architecture assyrienne. Des foyers égyptien et chaldéen sont sortis deux courants : l'un oriental, dont l'action apparaît dans les architectures de la Perse, de l'Inde, de la Chine, de l'Amérique; l'autre occidental, que les Hittites conduisent à travers l'Asie-Mineure, tandis que les Phéniciens le distribuent par mer sur les bords de la Méditerranée.

Sous l'influence du courant occidental naissent successivement deux arts préhelléniques : d'abord, au temps de l'outillage de

(*) Librairie Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

bronze, l'art des âges homériques, l'art mycénien ; puis, au temps de l'outillage de fer, l'art lydien, dont la Lydie, la Phrygie et l'Étrurie contiennent les principaux monuments.

Une invasion venue du Nord, l'invasion dorienne, se répand en Grèce peu après la guerre de Troie. Elle y mêle une race plus énergique à l'ancienne population. A la faveur de ce mélange, l'art grec se forme vers le VIIe siècle. « De ses débuts à ses der-« niers instants, il garde l'empreinte de la double origine « ionienne et dorienne dont le peuple grec est issu. » L'essaimement colonial propage le type ionien vers l'Orient, dans l'Asie-Mineure, et le type dorien vers l'Occident, dans la Sicile et dans la grande Grèce. Athènes, lieu de rencontre des deux modes artistiques, des deux ordres, les exprime l'un et l'autre sous leurs formes les plus achevées.

L'architecture des Romains, d'abord étrusque, puis empreinte de grec, ne prend sa physionomie définitive qu'aux approches de l'ère impériale. La création et l'organisation de l'Empire déterminent la formation de l'architecture proprement romaine, celle des thermes, des amphithéâtres, des ponts, des aqueducs. Cet art grandiose apparaît comme un instrument de domination. Essentiellement utilitaire et administratif, il se diversifie, dans les provinces, selon les ressources et les nécessités locales.

Avec l'effondrement simultané du paganisme et de l'Empire romain s'ouvre un âge nouveau, le moyen âge.

Les architectures chrétiennes se partagent en deux groupes : les architectures latine, byzantine, arménienne, qui se lient au passé par filiation immédiate ; les architectures romanes et gothiques, qui se constituent en Occident après la rupture de traditions causée par les invasions barbares. Aux premières se rattachent les architectures musulmanes, « comme elles issues de cette source commune des arts asiatiques, qui est la Perse ».

L'architecture latine, legs et débris de l'art romain, est une architecture d'attente, dont le monument principal, la basilique, sera, en des époques différentes selon les pays, diversement transformé par les arts du moyen âge.

Parmi ces arts, le premier en date est l'art byzantin, qui se constitue dès la première moitié du VIe siècle. Il naît de l'action exercée par l'architecture à légères coupoles de la Perse sur l'art romain des provinces orientales de l'Empire. A l'architecture byzantine, qui pousse des rameaux en Italie et jusque dans le Sud-Ouest de la France, se rattachent les architectures religieuses de l'Arménie, de la Russie, du bas Danube et, par certains carac-

tères, celle de la Sicile sous les rois normands. Le courant dirigé vers le Nord, par la Russie, atteint les pays Scandinaves et, redescendant le long de la mer du Nord, se fait sentir jusqu'en Angleterre et en Normandie.

L'architecture musulmane se greffe, à son début, au VII[e] siècle, sur l'architecture byzantine. Elle prend ensuite une physionomie originale en s'inspirant directement des principes de l'art primitif de l'Asie.

Tandis que, dans la moitié orientale de l'ancien Empire romain, l'architecture renaissait sous les formes byzantine et arabe, elle végétait péniblement dans la moitié occidentale. Une nouvelle ère artistique ne pouvait s'ouvrir pour cette contrée qu'à la faveur d'une reconstitution sociale succédant aux bouleversements produits par les invasions barbares. Il y a deux périodes distinctes dans l'art du moyen âge occidental : la période de formation, dite romane ; la période d'épanouissement, à laquelle on attribue le nom impropre, mais consacré, de gothique. De l'une à l'autre il n'existe point d'interruption.

Le roman s'est formé, à des époques et avec des caractères variables selon les régions, sous l'empire des traditions locales et des exemples donnés par les architectures orientales.

Le gothique s'est constitué par le développement logique et complet des principes de l'architecture romane, et moyennant un apport de provenance asiatique, l'arc brisé ou l'ogive, acclimaté dans l'Occident par les pèlerins de Terre Sainte ou les premiers croisés. L'architecture gothique, si puissamment originale, si audacieusement analytique, s'est formée, au cours du XII[e] siècle, dans la région dont Paris occupe le centre. Elle s'est ensuite répandue dans l'Europe occidentale en revêtant des caractères différents selon les pays.

L'architecture gothique a pris fin avec la société du moyen âge. Elle avait été jusqu'à l'extrême limite du possible dans son développement organique. Elle avait épuisé toutes ses ressources. L'architecture de la Renaissance la remplaça. Ce fut une brusque rupture avec l'art antérieur, sinon, d'abord, dans toutes les formes, au moins dans les principes. Pour la première fois, la rénovation artistique ne vint pas de l'Orient. Elle consista dans un retour aux organes élémentaires et aux formes décoratives de l'architecture antique ; et, comme ce retour eut lieu d'abord dans l'Italie centrale, à partir du commencement du XV[e] siècle, la Renaissance s'inspira surtout des monuments italiens de l'architecture romaine impériale.

En France, où l'art gothique avait poussé ses premières et ses plus fortes racines, la Renaissance ne se produit qu'à partir du XVIe siècle. Elle y conserve, sous la main des artistes indigènes, un caractère plus libre, des partis plus expressifs et plus accidentés.

Puis vient l'architecture moderne, dont M. Choisy, bornant désormais son étude à la France, assigne le départ à l'issue du XVIe siècle, à l'instant où cessent les guerres de religion. L'architecture tourne alors au classique. « Modeste et économique après « les guerres de la Ligue, elle devient somptueuse sous Richelieu, « majestueuse et solennelle jusqu'à l'excès sous Louis XIV, puis « elle se montre raide et sobre aux approches de la Révolution. »

Nous arrivons au XIXe siècle. « L'architecture d'apparat expire « à la Révolution. Une société nouvelle s'est constituée qui veut « un art nouveau. L'abolition des maîtrises ouvre le champ aux « innovations, mais n'en suscite aucune. Pendant un demi-siècle « au moins, l'architecture est vouée à de stériles essais. »

L'archéologie alors étouffe l'art. « On dirait un art réduit à « vivre sur le fonds du passé en attendant l'apparition d'une idée « originale, d'un principe qui lui soit propre. Heureusement « cette idée, ce principe paraît se dégager enfin de l'introduction « d'une matière nouvelle dans l'ossature de nos édifices, le fer... « La voie est ouverte, et il serait aisé de montrer qu'il y a dans « ces débuts plus que des promesses, si nous ne croyons qu'une « histoire de l'architecture doit s'arrêter aux œuvres dont les « auteurs sont nos contemporains. »

Sur ces paroles se termine l'ouvrage de M. Choisy. Plusieurs cartes y expriment la filiation et la géographie des styles. Mais, parmi cette multitude de formes, variables selon les âges dans le même pays et, selon les pays, dans le même âge, qu'ont revêtues les édifices bâtis par les hommes des diverses races, pour subvenir à l'infinie variété de leurs besoins et de leurs usages, toutes n'offrent pas, tant s'en faut, la même importance ni le même intérêt. Il y en a d'originales, de principales, signalées par la perfection qu'elles ont atteintes et par l'influence qu'elles ont exercée. Il y en a de secondaires et d'effacées. M. Choisy s'est particulièrement attaché à l'étude des premières; il a rapidement passé sur les autres, sachant ainsi, dans un sujet aussi vaste, concentrer l'attention sur les types essentiels, afin d'instruire le lecteur sans le surcharger.

*
* *

Pour rendre compte d'un style, l'auteur commence par donner les quelques indications utiles sur le pays, ses besoins, ses ressources. Puis il traite, dans une série de chapitres, des objets suivants :

Méthodes de construction ;
Formes ;
Proportions ;
Monuments ;
Aperçus historiques.

Les matières se succèdent ainsi dans un ordre rigoureusement logique. Chaque chapitre s'appuie sur le précédent.

D'abord les matériaux. Leur assemblage constitue physiquement l'œuvre d'architecture. Il faut en connaître avant tout la nature et le mode d'emploi, qui ont tant d'influence sur les formes. Cette étude est faite avec une abondance de renseignements et une compétence technique, qui mettent, à cet égard, l'ouvrage de M. Choisy absolument hors de pair. Il y a, sur la manœuvre des pierres par les Égyptiens, sur les constructions en charpente de l'Inde et de la Chine, sur les constructions en pierre et en bois de la Grèce, sur la bâtisse par concrétion des Romains, sur les voûtes romaines, byzantines, arabes, romanes et gothiques, une foule d'informations originales, qui sont dues, pour la plupart, aux observations ou aux interprétations personnelles de l'auteur.

Après les méthodes de construction, leurs effets sur l'organisme des édifices, c'est-à-dire les formes ; par exemple, pour l'architecture égyptienne, la décoration des murs ; les colonnades examinées dans l'ensemble et dans les parties élémentaires, base, fût, chapiteau, entablement, corniche ; les ornements métalliques ; la modénature et le dessin ornemental ; la décoration sculptée, la décoration peinte. Des développements analogues, plus ou moins étendus selon les cas, sont présentés, dans un ordre toujours irréprochable, pour les différents systèmes d'architecture.

L'étude des proportions, et notamment des relations modulaires et des rapports métriques établis entre les dimensions des édifices, a été, de la part de M. Choisy, l'objet d'une sollicitude particulière. Cette mystérieuse intervention des lois de nombres dans l'architecture, qui apparaît avec évidence dans les monu-

ments les plus accomplis de l'antiquité, et qu'on retrouve encore dans l'architecture gothique et dans les ordres de la Renaissance, a été spécialement examinée en France par des ingénieurs des Ponts et Chaussées. Les beaux travaux de M. Aurès ont ouvert la voie. MM. Choisy, Dieulafoy et Babin ont continué avec succès l'œuvre de leur devancier.

C'est surtout dans l'art grec que, à l'exemple des arts primitifs de l'Égypte et de l'Assyrie, apparaît dans la composition des édifices « cette harmonie rythmée, qui ne peut mieux se compa« rer qu'à celle de la versification ». L'auteur en analyse les éléments et les procédés : le choix des nombres, le choix du module, les méthodes graphiques, les proportions des ordres, le tracé des profils. « Partout, dit-il, dans l'architecture grecque, la géométrie trouvait sa place. » Cela expliquerait la prédilection des ingénieurs pour ces études de proportions.

Toujours à propos des proportions, M. Choisy examine les corrections, apportées déjà par les Égyptiens et, plus tard, avec des raffinements si délicats, par les Grecs, aux formes des édifices, pour compenser les erreurs visuelles dues aux effets d'éloignement, d'irradiation et de contraste. Ces corrections reviennent à dévier de la verticale des parements et des axes et à substituer des courbes aux lignes droites.

Au même sujet se rattachent encore des observations du plus haut intérêt sur « le pittoresque dans l'art ». Les Grecs du temps de Périclès ne cherchent nullement le caractère monumental dans la symétrie des édifices. Ils admettent les dispositions les plus irrégulières et s'attachent seulement à obtenir la pondération des masses. Nulle part ces effets d'équilibre optique n'ont été plus librement et plus savamment réalisés qu'à l'Acropole d'Athènes, où M. Choisy les a étudiés en observateur consommé et en artiste du goût le plus délicat. C'est une jouissance rare de parcourir cette Acropole avec un si bon guide. Il en fait revivre, dans une suite de perspectives, les anciens aspects, tels que, il y a vingt-quatre siècles, ils se présentaient au regard du visiteur.

Tous les moyens de l'architecture : méthodes de construction, formes, proportions, ayant été analysés, il reste à voir comment ils sont concertés pour réaliser l'objet final, l'édifice. Mais si, dans les architectures primitives, il n'y a que très peu de types d'édifices, le nombre de ces types augmente à mesure que les besoins se multiplient et que l'architecture progresse. Aussi l'étude des monuments devient-elle de plus en plus complexe depuis les âges les plus reculés jusqu'à nos jours.

M. Choisy classe et examine, pour chaque style, les divers monuments de ce style, en tenant compte de leur valeur relative. Il s'attache surtout aux monuments typiques, à ceux qui expriment le plus complètement les caractères du style, et il traite brièvement des autres édifices. C'est ainsi que, pour l'architecture grecque, nonobstant les quelque cent pages déjà consacrées à l'examen des *Ordres*, l'étude approfondie du *Temple* occupe une soixantaine de pages, alors que celle de tous les autres édifices, propylées, théâtres, stades, cirques, gymnases, monuments commémoratifs et funéraires, habitations privées, ouvrages de travaux publics et de défense, tient en vingt-six pages. Pour l'architecture gothique, plus rapprochée de nous, la proportion n'est plus la même entre l'espace donné à l'architecture religieuse et celui accordé aux architectures civile et militaire. Ces dernières jouant un rôle plus considérable, un chapitre distinct est attribué à chacune d'elles.

L'art grec et l'art gothique, les monuments antiques de l'Hellade et les monuments construits, au bas moyen âge, dans l'Ile de France, sont les sujets à l'étude desquels on pourrait dire que M. Choisy s'est consacré avec prédilection, si cette forme de langage ne devait pas impliquer une moindre attention donnée à l'examen des autres styles et des autres monuments. Toujours est-il que l'architecture grecque et l'architecture gothique tiennent : l'une, près de la moitié du premier volume, et l'autre, la moitié du second.

Et il est juste qu'il en soit ainsi, car ces deux architectures, si absolument différentes l'une de l'autre dans leurs formes et dans leur esprit, se placent par la haute valeur de qualités communes: netteté des partis, sincérité des expressions, spontanéité, délicatesse et intensité du sentiment artistique, au premier rang de tous les styles. Dans chacune d'elles, l'édifice religieux, temple d'une part, cathédrale de l'autre, a été l'œuvre d'art par excellence, l'œuvre de tous les arts étroitement associés ensemble, sous la discipline architectonique, pour former le monument incomparable, l'émouvant et merveilleux chef-d'œuvre, qu'il n'a été donné de produire qu'à un très petit nombre d'époques.

Pour finir l'étude d'un style, M. Choisy relate brièvement, dans un aperçu historique, les origines de ce style, sa formation, son développement, ses variétés, ses vicissitudes et sa fin. Il a soin de placer l'histoire de l'architecture dans son cadre naturel, en l'associant, à grands traits, avec l'histoire générale. Beaucoup d'auteurs s'étendent à loisir sur ces rapprochements. M. Choisy

sait se borner. Il dit en peu de mots le nécessaire, insistant seulement sur ce qui, dans l'organisation sociale, concerne la condition des artisans et l'exécution des travaux. Et ainsi son histoire de l'architecture, discrètement liée à l'histoire générale, est bien ce qu'elle doit être, une histoire technique et artistique.

*
* *

Il reste, après avoir indiqué en quoi consiste et dans quel ordre se développe cette histoire, à essayer de donner une idée de la manière dont elle est écrite et graphiquement illustrée.

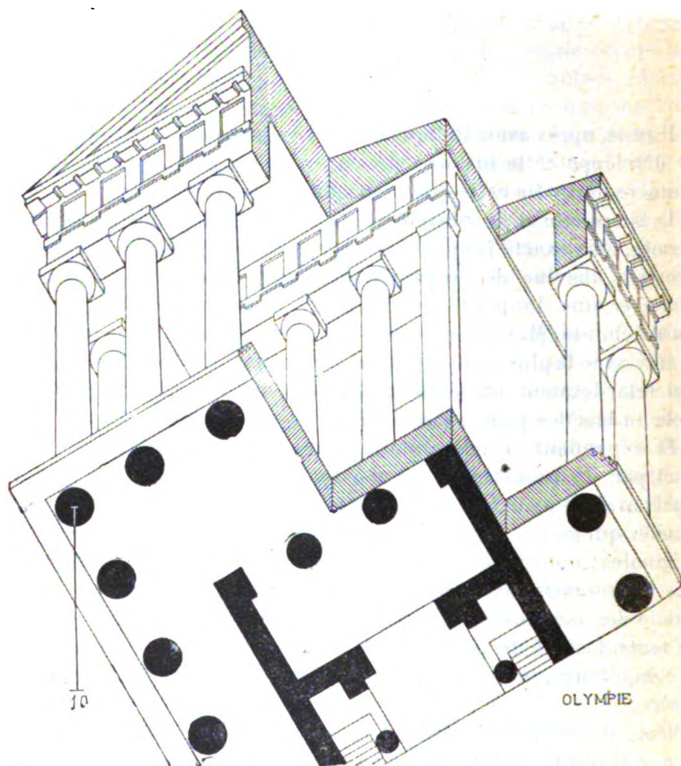
La simplicité et la sobriété de la diction, l'heureux choix des termes, leur exacte propriété, le tour alerte des phrases, la subordination absolue de l'expression à l'idée, donnent au style une clarté et une limpidité qui rendent la lecture aussi agréable qu'attachante. M. Choisy a l'horreur du compliqué et du pédant. Il évite avec la plus scrupuleuse attention tous les développements qui retarderaient ou alourdiraient son discours. Pas une seule note au bas des pages. Jamais trace de dissertation.

Et cependant, érudit autant qu'homme de son temps, instruit par de nombreux voyages, dont il a rapporté, alors même qu'ils avaient pour but les monuments les plus visités et les plus étudiés qui soient au monde, une foule d'observations neuves et originales; nourri de lectures d'autant plus étendues que, chez lui, la connaissance approfondie des langues anciennes se joint à celle des langues vivantes, M. Choisy, muni de la sorte, aurait eu toute facilité de faire briller, en mille occasions, son savoir, sa compétence, sa sagacité. Il a dédaigné les satisfactions de cette espèce.

Même il s'est refusé la douceur, autorisée par d'universelles et bien naturelles habitudes, de s'arrêter avec quelque complaisance sur les objets de ses propres recherches. Jamais il n'est aussi bref que lorsqu'il parle de ses travaux personnels. On ne se douterait point, à lire les quelques pages consacrées soit à la bâtisse romaine par concrétion, soit à la construction des voûtes byzantines, que l'auteur de ces pages est celui-là même qui a écrit l'*Art de bâtir chez les Romains* et l'*Art de bâtir chez les Byzantins*.

Mais il y a plus. Cet auteur, qui, dans la table fort bien faite placée à la fin de chaque volume, cite très scrupuleusement les écrivains et les artistes passés ou présents qu'il a mis à contribution, ne se cite jamais lui-même. C'est trop de réserve. M. Choisy

frustre le lecteur, par excès de modestie, d'une information utile. Il devait nommer ses ouvrages au même titre qu'il nomme ceux d'autrui. Toutefois n'incriminons pas trop cette omission. Il est peu à craindre qu'elle fasse école.



M. Choisy discute le moins possible; il se borne presque à exposer. S'agit-il d'une question controversée, il rapporte brièvement les avis et, plus brièvement encore, il donne le sien, appuyé sur la raison probante, s'il y en a une, comme dans le cas de l'origine des formes de l'entablement dorique. Mais s'il n'existe pas d'argument décisif, l'auteur ne se croit pas tenu de conclure. Il ne se fait pas un point d'honneur d'apporter la solution de tous les problèmes et de trancher toutes les difficultés.

Grâce à l'excellence de la méthode suivie en toutes choses,

l'immense quantité de recherches et d'observations accumulées dans l'*Histoire de l'Architecture* est présentée au public de la façon la mieux assimilable. Un profane ne saurait se douter, tant l'effort disparaît sous la simplicité d'une forme accomplie, de ce qu'il y a de connaissances générales et particulières enfermées dans les deux volumes de cette histoire. Tel paragraphe contient la substance d'un gros livre. Telle phrase résume une longue théorie.

Les très nombreux dessins intercalés dans le texte sont, comme celui-ci, marqués au coin de l'auteur. Il les a presque tous tracés de sa main, adoptant le plus souvent le système de la perspective isométrique, qui montre en même temps, et à la même échelle, les trois dimensions des objets. L'exemple donné ci-dessus, emprunté au livre de M. Choisy, représente le temple d'Olympie. Dans ce système, une seule image, mouvementée et animée comme l'édifice lui-même, tient lieu de la figuration abstraite, fractionnée par plan, coupe et élévation. Les dessins, très exacts, habilement simplifiés par la suppression des détails superflus, sont d'une clarté parfaite. L'auteur n'a rien négligé pour en rendre l'exécution irréprochable.

Ainsi, par la forme comme par le fond, l'*Histoire de l'Architecture* est une œuvre de premier ordre. Elle complète dignement le *Traité d'Architecture* paru il y a quarante ans. C'est un honneur pour le corps des Ponts et Chaussées que l'étude générale de l'architecture ait été intégralement et supérieurement faite par deux de ses membres, par M. Léonce Reynaud, pour la partie didactique, par M. Auguste Choisy, pour la partie historique.

22 février 1899.

COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES.

N° 18

PÉRIODIQUES FRANÇAIS.

I. — Sciences appliquées.

Le Génie civil (4, 11, 18 et 25 février 1899) : Considère. — *Influence des armatures métalliques sur les propriétés des mortiers et bétons.* — L'auteur termine son importante étude par un résumé des conclusions pratiques auxquelles il est parvenu. En voici quelques-unes :

Le béton, suffisamment armé de métal, peut prendre, sans se fissurer ni se désagréger, des allongements très supérieurs à ceux observés dans les essais usuels de traction.

Le coefficient de sécurité semble pouvoir être fixé à 2,5, d'après les résultats constatés des constructions existantes.

La rupture transversale des fibres tendues diminue beaucoup la résistance des pièces faiblement armées, mais modifie peu celle des poutres fortement armées. Par suite, les fissures amorcées n'ont pas de tendance à s'étendre quand les armatures sont assez fortes.

Les variations du coefficient d'élasticité du béton n'exercent qu'une influence relativement faible sur la résistance des poutres armées.

Nouvelles Annales de la Construction (janvier 1898 à février 1899) : L. Lefort. — *Calcul des poutres droites et planchers en béton de ciment armé.* — Dans ce quatorzième et dernier article, l'auteur achève de donner les calculs relatifs aux poutres et planchers en ciment armé. Il y joint des abaques permettant de résoudre très rapidement les problèmes relatifs aux armatures.

II. — MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION.

Annales des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées (janvier 1899) : *Relèvement d'un pont en maçonnerie.* — La note décrit le relèvement d'une voûte en maçonnerie du canal de l'Est, opéré, il y a une vingtaine d'années, par M. l'ingénieur Alfred Picard. La voûte mesure 10 mètres d'ouverture, $1^m,30$ de flèche, $6^m,60$ de largeur, $0^m,88$ d'épaisseur à la clef et $1^m,50$ d'épaisseur aux naissances. On l'a relevée de $0^m,37$, au moyen de vérins placés, au nombre de quatre par cintre, sous les cinq cintres portant cette voûte. On avait séparé la voûte des culées, en la coupant, aux naissances, sur la largeur d'un voussoir de tête et d'un rang de moellons de douelle. Des crics serraient la voûte aux naissances pendant le mouvement. On a bouché au ciment de Portland les légères fissures qui se sont produites à l'intrados. Le relèvement de la voûte, ainsi substitué à sa reconstruction, projetée d'abord, a procuré une économie notable de temps et d'argent.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (janvier 1899) : M. DE TEDESCO. — *Les derniers progrès accomplis dans les constructions en ciment armé.* — L'auteur rend compte des principaux progrès théoriques et pratiques réalisés dans l'emploi du ciment armé. — Expériences sur la résistance à la traction du ciment pur, faites au Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, à la demande de M. l'Inspecteur général Bourdelles et relatées dans les *Annales* (3e trim. 1898, p. 198), par M. de Joly. — Expériences de M. l'Ingénieur en chef Considère sur la résistance à la flexion de barres de ciment armé (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* des 2 et 12 janvier 1899). — Tuyaux de M. Bonna, en ciment armé avec tube d'acier soit intérieur, soit noyé à mi-épaisseur, pour assurer l'étanchéité. — M. Coignet arme ses poutres haut et bas de barres rondes reliées l'une à l'autre. — M. Bonna remplace les fers ronds par des aciers profilés, ayant plus de rigidité, qualité intéressante au point de vue de la stabilité des fers pendant l'opération du moulage. — M. Hennebique n'arme ses poutres qu'à la partie inférieure. — M. Cottancin rattache ses tirants au treillis du hourdis au moyen d'un tissu à fils métalliques. — Expériences faites par la Société pour les constructions en ciment armé. Elles donnent à peu près le même résultat que celles de M. Consi-

dère. — M. de Tedesco fait ressortir les avantages de l'armature symétrique (*le Ciment*, 25 octobre 1897). — Considérations théoriques et critiques développées par feu M. l'Ingénieur Stellet (*le Ciment*). — Études de M. l'Ingénieur en chef Lefort sur les poutres droites en béton de ciment armé, publiées dans les *Nouvelles Annales de la Construction*. M. Lefort, reprenant la théorie générale de la flexion des corps hétérogènes, dont M. l'Ingénieur de Mazas a posé les bases, conclut en faveur de la poutre à armature symétrique. — Brochure de M. Canovetti, directeur des travaux de la ville de Brescia, montrant que les idées nouvelles sur le travail des matériaux hétérogènes se font jour en Italie, comme par ailleurs.

Le Génie civil (17 décembre 1898): Ch. Dantin. — *Exposition de 1900. Déplacement de la galerie de* 30 *mètres au Champ de Mars.* — La galerie de 30 mètres, qui réunissait, lors de l'Exposition de 1889, le Dôme central au Palais des Machines, devant être réutilisée pour abriter les générateurs d'électricité, on décida d'en transporter les travées sur leur nouvel emplacement, situé le long du Palais des Machines, perpendiculairement à leur position primitive.

Sur les six travées de 30 mètres d'ouverture et de 25 mètres de largeur qui composaient l'ancienne galerie de 30 mètres, trois travées prises de deux en deux, limitées chacune par deux fermes, ont été transportées tout d'une pièce. Elles pesaient 121.300 kilogrammes et 162.500 kilogrammes avec les pièces de contreventement et les appareils de transport. Ceux-ci consistaient en quatre chariots avec galets de roulement et quatre treuils manœuvrés à bras d'homme.

L'opération comportait les phases suivantes :

1° Soulèvement de la travée au moyen de vérins placés au droit de chaque palier de ferme et montage de chaque pilier sur un chariot muni de galets ;

2° Déplacement de la travée sur deux files de rails rectilignes jusqu'à une voie circulaire située au croisement de l'ancien et du nouvel emplacement de la galerie ;

3° Rotation de la travée sur la voie circulaire dont le diamètre est tel que le rectangle occupé en plan par la travée s'inscrive dans le cercle ;

4° Déplacement de la travée sur deux rails parallèles jusqu'à son emplacement définitif ;

5° Soulèvement de la travée au moyen de vérins, enlèvement

des chariots et descente de la travée sur ses nouvelles fondations.

Les deux premières travées avaient été transportées avec un plein succès, quand, le 10 décembre 1898, un ouragan les renversa. Il fallut refaire les fermes.

—— (11 février 1899): A. Bourdon. — *Prolongement de la ligne d'Orléans de la place Walhubert au quai d'Orsay. — Travaux souterrains exécutés par la méthode du bouclier.* — Les deux tronçons souterrains compris: l'un entre le pont Sully et le Petit-Pont (1.002 mètres), l'autre entre le Pont-Neuf et la rue de Beaune (765 mètres), sont d'une exécution particulièrement difficile et délicate. On s'y est servi du bouclier employé par M. Chagnaud pour la construction du collecteur de Clichy, en apportant à l'usage de cet engin les améliorations suivantes:

1° Au lieu de s'appuyer sur le sol, le bouclier repose sur les piédroits préalablement construits.

2° Le bouclier est très exactement guidé dans sa marche par des rouleaux latéraux verticaux, roulant contre les parois intérieures des piédroits;

3° Un dispositif spécial permet de soutenir efficacement les terres derrière le bouclier, de manière à empêcher tout vide de se produire entre ces terres et l'extrados de la voûte.

Revue de Mécanique (janvier 1899): C. Charpy. — *Essais mécaniques des métaux.* — Dans ce premier article, l'auteur examine, en suivant l'ordre chronologique, les machines de traction, qu'il classe en trois catégories, suivant le dispositif employé pour mesurer les efforts: Machines où l'effort est mesuré par des poids variables suspendus au bout d'un levier; machines où l'effort est équilibré par un poids constant que l'on déplace le long du levier d'une romaine; machines à indications automatiques.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Revue technique (10 février 1899): *Le pont en X au Mans, étudié et construit par M. Harel de la Noë.* — L'article de *la Revue technique* est la reproduction d'une note rédigée par M. l'Ingénieur en chef Harel de la Noë. Cette note, très étendue, outre qu'elle fournit des renseignements fort intéressants sur

l'ouvrage si original qu'est le pont en X, contient encore de très importantes informations théoriques et pratiques sur les conditions d'emploi du ciment armé, informations dont M. de la Noë a donné le résumé dans la note placée en tête du présent volume (p. 1).

IV. — Navigation intérieure.

Revue technique (25 novembre 1898) : G. Leugny. — *De la Baltique à la mer Noire. Le canal maritime de Riga à Kherson.* — Si l'on examine une carte physique de l'est de l'Europe, on remarque, entre les prolongements des Karpathes et les hauteurs de Valdaï et de Koursk, une dépression dont l'altitude maximum est d'environ 120 mètres, et où coulent : vers le nord, la Duna; vers le sud, la Bérésina et le Dniéper. Le canal projeté emprunte ces trois cours d'eau. Sa longueur est de 1.600 kilomètres; sa section offre 35 mètres au plafond, 65 mètres à la flottaison et $8^m,50$ de mouillage.

Malgré la différence de niveau entre les extrémités et le point de partage, le canal est prévu *sans écluses*. Sur tout le parcours, les cours d'eau traversés ou affluents seront pourvus soit d'écluses formant retenues, soit de barrages automobiles. On compte que, dans la partie la plus élevée, très mouillée et à pente très faible, on trouvera assez d'eau pour alimenter le canal. Sur les deux versants, où le canal emprunte le lit des fleuves, la pénurie d'eau n'est pas à craindre, le Dniéper et la Duna débitant à l'étiage, aux points de jonction avec le canal, le premier 1.290 mètres cubes, et la seconde 500 mètres cubes. Deux lacs seront constitués dans les terrains marécageux pour servir de garage et d'entrepôt en même temps que de régulateurs des eaux.

On a estimé le trafic de transit à 10 millions et demi de tonnes. Il paraît prudent de le réduire de moitié. Le trafic intérieur sera considérable.

Les avantages militaires seront de premier ordre. En cinq jours, la flotte de guerre pourra passer de la Baltique dans la mer Noire, et inversement. Le canal accélérera la concentration des troupes et leur approvisionnement.

Les dépenses de premier établissement sont évaluées à 500 millions de francs par la Société d'études, qui demande la concession du canal moyennant un taux minimum d'intérêt garanti par le Gouvernement Russe.

—— (10 février 1899) : G. L. — *La prévision des crues.* — L'auteur expose les principes sur lesquels repose actuellement la prévision des crues et examine successivement les divers phénomènes dont l'étude est nécessaire pour établir cette prévision.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Annales des Mines (1898, 11e livraison) : E. Polonceau. — *Note sur la convergence des essieux dans les voitures à grand écartement d'essieux de la Compagnie d'Orléans.* — La voiture d'expériences a un écartement d'essieux de $7^m,200$; elle est munie de la suspension à menottes. Le jeu longitudinal de la boîte d'essieu dans sa plaque de garde est de 10 millimètres de chaque côté, soit un jeu total de 20 millimètres. Sur cette voiture étaient montés des appareils enregistreurs des déplacements des essieux.

Les expériences ont eu lieu sur la ligne de Paris à Clermont (*viâ* Montluçon), où les courbes ont de 2.000 à 250 mètres de rayon. Elles ont été faites avec des essieux à bandages neufs, à bandages ayant un creux de 2 millimètres, à bandages ayant un creux de 4 millimètres.

Entre autres résultats, les expériences ont montré que, avec le système de suspension adopté et le jeu longitudinal total de 20 millimètres, les essieux sont assez convergents pour qu'il n'y ait, en pratique, aucun inconvénient à adopter des écartements d'essieux de $7^m,20$. Avec un jeu total de 30 millimètres, on pourrait porter à $8^m,20$ l'écartement des essieux.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (décembre 1898) : L. Rey. — *Notes sur la construction du chemin de fer de Sfax à Gafsa.* — L'auteur rend compte du tracé de la ligne d'environ 250 kilomètres de longueur, construite par la Compagnie des Phosphates et du Chemin de fer de Gafsa pour exploiter les copieux gisements de phosphates situés dans la région de Gafsa. Les rampes ne dépassent pas 8 millimètres dans le sens du trafic, c'est-à-dire de Gafsa vers Sfax et 15 millimètres dans le sens contraire. Le rayon minimum des courbes est de 200 mètres. La voie se compose de rails en acier de 25 kilogrammes, de 10 mètres de longueur, appuyés sur des traverses métalliques. On l'a posée par cheminement, depuis Sfax, au moyen d'un chariot, dit wagon-poseur, imaginé par M. Wiriot,

entrepreneur général de la ligne, chariot dont la description a été donnée dans les *Annales* (4e trim. 1898, p. 171) par M. Dubois, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Grâce au wagon-poseur, qui permettait de poser facilement 800 mètres de voie par jour, et avec lequel on en a posé jusqu'à 1.600 et même 1.800, les 250 kilomètres de la ligne ont pu être construits en une année, à partir du 7 décembre 1897. La constitution de la Société datant du 8 février 1897, on n'a mis que vingt-trois mois pour étudier et construire le chemin de fer.

Le Génie civil (7 et 14 janvier 1899) : A. Boudon. — *Prolongement de la ligne d'Orléans de la place Walhubert au quai d'Orsay.* — L'auteur passe en revue les divers chantiers installés le long du quai de la rive gauche de la Seine, depuis la gare terminus actuelle jusqu'au Pont-Neuf, en notant, pour chacun d'eux, les procédés de construction et l'avancement des travaux.

—— (21 janvier 1899) : R. de Batz. — *Les chemins de fer de Sibérie et de l'Est de la Chine.* — L'auteur donne une carte de ces chemins de fer, où est tracée la nouvelle voie dirigée vers le golfe de Corée, sur Port-Arthur, qui va remplacer en grande partie Wladivostock comme objectif du Transsibérien. Il rend compte de l'état actuel des travaux et ajoute à cet exposé quelques informations sur l'exploitation.

Revue générale des Chemins de fer (décembre 1898) : Desdouits. — *Calcul de l'allocation de temps nécessaire pour les démarrages, les arrêts et les ralentissements des trains.* — L'auteur définit un démarrage en ces termes : l'ensemble des opérations ayant pour objet de communiquer à un train partant du repos sa vitesse de pleine marche. La durée d'un démarrage est fonction du type de la machine, de la composition du train, de la vitesse de régime, du tracé de la ligne (déclivités et courbes).

L'auteur calcule d'abord la durée d'un démarrage en palier. Il représente par des courbes les lois de variation de l'accélération, de la vitesse, de l'espace parcouru, et, faisant une application de ses calculs à un train de 130 tonnes traîné par une machine d'express, de force moyenne, à des vitesses de régime variant de 60 à 90 kilomètres à l'heure, il trouve que le temps perdu pour le démarrage est de :

43 secondes pour la vitesse de		60 kilomètres	
54	—	70	—
70	—	80	—
86	—	90	—

Une expérience, faite dans les mêmes conditions, a donné les chiffres suivants : 45, 55, 68 et 83 secondes, c'est-à-dire très sensiblement les mêmes résultats que ceux fournis par le calcul.

L'auteur examine ensuite les démarrages relatifs à d'autres circonstances de train et de machines, les démarrages en rampes, les arrêts et les ralentissements.

—— (Janvier 1899) : BERQUET et MARGOT. — *Note sur la nouvelle gare de Zurich.* — La nouvelle gare de voyageurs, spacieuse et commode, s'étend sur tout l'espace qu'occupait la gare de petite vitesse. On applique aux nouvelles voies, pour la circulation des bagages, une disposition usitée en Allemagne et adoptée dans quelques gares suisses, qui consiste à disposer entre les voies des trottoirs spéciaux de 2m,50 à 3m,50 de largeur, exclusivement réservés à la circulation des tricycles. L'accès en est interdit aux voyageurs par une chaîne. Cette disposition évite l'encombrement des trottoirs à voyageurs par les bagages et assure un transport plus rapide de ces bagages.

La nouvelle gare de petite vitesse, située hors ville, comprend deux halles, l'une pour les expéditions, l'autre pour les arrivages, qui appartiennent toutes deux au type à quais dentelés obliquement, donnant une grande facilité pour le mouvement des wagons. La halle des arrivages comporte, sur 405 mètres de longueur, onze redans de 36 mètres, pouvant contenir chacun quatre ou cinq wagons à quai dont les mouvements sont indépendants de ceux des autres wagons.

—— (Janvier 1899) : R. GODFERNAUX. — *Le chemin de fer de la Jungfrau.* — Le projet en construction est de M. Guyer-Zeller de Zurich. Les projets antérieurs, au nombre de trois (Kœchlin, Trautweiler et Locher), admettaient des rampes extrêmement fortes. M. Guyer-Zeller a pu mettre à profit le chemin de fer de Lauterbrunnen à Grindelwald, ouvert en 1893. Son tracé part de la station de la Petite-Scheidegg (2.064 mètres), située à plus de 1.100 mètres au-dessus de Lauterbrunnen. De la

Petite-Scheidegg au sommet de la Jungfrau il ne reste plus à gravir que 2.102 mètres (4.166 — 2.064).

Le tracé, au lieu de monter directement à la Jungfrau, contourne la montagne de manière à offrir un développement d'environ 12 kilomètres et un maximum de 25 0/0 pour les déclivités. Quatre stations partagent le parcours en cinq sections. La première, de 2 kilomètres de longueur, entièrement à l'air libre, a été ouverte le 21 septembre dernier. Elle se termine à la station d'Eigergletscher, à 434 mètres de laquelle commence le tunnel continu aboutissant au sommet. Les autres stations intermédiaires sont celles de Grindelwaldblick, d'où l'on a la vue de la vallée de Grindelwald, de Kalifirn, donnant le panorama de la vallée du Rhône, et de Jungfraujoch (col de la Jungfrau), d'où, grâce à une galerie percée dans le rocher, on aura la vue des deux côtés de la montagne. Entre ces deux dernières stations, le maximum de la pente sera seulement de 6,5 0/0. Du col de la Jungfrau à la station terminale de la Jungfrau, sur environ 3 kilomètres, il y a une rampe de 25 0/0. De la station terminale on gagnera le sommet, situé à 73 mètres plus haut, au moyen d'un ascenseur logé dans un puits vertical et mû par l'électricité.

Le tunnel, d'une longueur totale d'environ $10^{km},5$, mesure $3^{m},60$ de largeur et $4^{m},25$ de hauteur sous clef. Les travaux de percement, déjà terminés sur 1.200 mètres, se poursuivront par avancement continu depuis l'origine jusqu'au sommet. Chaque section, aussitôt le tunnel terminé, sera ouverte à l'exploitation. Le travail se poursuit hiver comme été.

On a adopté la voie à écartement intérieur de 1 mètre avec deux rails de roulement et un rail central à crémaillère. Rails et traverses sont en acier. La traction se fera par l'électricité. Chaque train, composé d'une locomotive et de deux voitures, pèsera 26 tonnes et pourra transporter quatre-vingts voyageurs.

Les dépenses sont évaluées à dix millions de francs. La Compagnie espère ouvrir la deuxième et la troisième section en 1900, la quatrième en 1902 et la dernière en 1904.

—— (Janvier 1899) : F. Rost. — *Le cintrage du bois aux ateliers de la Compagnie de l'Est, à Romilly-sur-Seine.* — La construction des véhicules pour voies ferrées comporte l'emploi d'un assez grand nombre de pièces de bois courbes, qu'il y a grand avantage, tant au point de vue de la résistance qu'à celui de

l'économie, à obtenir par un cintrage fait à la vapeur. L'auteur décrit l'outillage et les opérations qui se rapportent à ce cintrage. Il en fait ressortir, dans un tableau, les avantages économiques pour un certain nombre de pièces usuelles. L'économie en argent varie de 18 à 38 0/0.

—— (Février 1899) : DELONCHANT. — *Nouveau rail-poutre de la*

Type A. — Coupe suivant l'axe d'un boulon d'éclisse.

Compagnie générale des Omnibus de Paris. — La caractéristique principale du nouveau profil consiste en ce que le champignon contient une ornière de 40 millimètres de profondeur, obtenue sans dénivellation sensible des deux parties du champignon formant rail et contre-rail, alors que, dans les rails actuellement en usage, cette profondeur d'ornière ne dépasse point 30 millimètres.

Type B.

Avec la profondeur de 30 millimètres, les boudins des roues tassent dans le fond de l'ornière les détritus de la chaussée, qui s'y durcissent et finissent par créer une résistance sensible au

roulement. Le nouveau rail supprimera ou réduira sensiblement cet inconvénient.

Le poids de ce rail par mètre courant est de 50 kilogrammes, en nombre rond. Sa longueur est de 10 mètres. Il est en acier. Sa résistance à la rupture est de 73 à 76 kilogrammes avec un allongement de 16,5 à 13 0/0.

On expérimente un nouveau type d'éclissage, A, dans lequel le patin se boulonne sur une selle de joint réunissant les abouts des rails, et un autre type, B, analogue au système en usage, mais plus commode au point de vue de l'éclissage électrique, à cause de l'intervalle de 8 à 10 millimètres ménagé entre l'âme du rail et les parois des éclisses.

La disposition A paraît présenter une solidité exceptionnelle; mais elle soulève des objections de la part de la Municipalité au point de vue du pavage.

—— (Février 1899) : *Nouvelle gare de marchandises du Great Northern Railway, à Manchester.* — Cette gare est à deux étages, communiquant ensemble par deux rampes de 35 millimètres par mètre, sur lesquelles les wagons sont tirés par groupes de huit, au moyen de cabestans hydrauliques. Des machines de gare les amènent au pied de la rampe, sur une voie de garage qui la prolonge. A l'étage supérieur, d'autres machines les emmènent pour former des trains. Ces manœuvres se font avec une extrême rapidité. L'emploi des rampes est plus avantageux que celui des monte-charge, élevant les wagons un à un.

Revue de Mécanique (décembre 1898) : Barbet. — *L'Exposition des Automobiles aux Tuileries.* — L'auteur, après avoir brièvement rappelé l'histoire des véhicules sans chevaux, décrit, avec l'aide de phototypies et de dessins géométriques, les principaux types d'automobiles exposés par les plus notables constructeurs.

Revue technique (25 novembre 1898) : J. Prouteau. — *La nouvelle ligne de tramways électriques Bastille-Charenton.* — La ligne, récemment ouverte, a un parcours de 6.150 mètres, dont 3.520 mètres à l'intérieur de Paris. Elle est à double voie avec conducteur aérien ou souterrain. La partie aérienne mesure 5.280 mètres, dont 2.650 dans l'intérieur de la ville. C'est la

première ligne à trôlet installée dans Paris. On a pris des précautions particulières pour diminuer le plus possible le mauvais effet des fils de gros diamètres parcourant les voies publiques. On a évité l'emploi des fils transversaux, des tendeurs, etc.

Les poteaux, du modèle adopté pour les becs de gaz, espacés d'environ 40 mètres, sont placés sur de petits refuges installés dans l'entre-voie.

—— (10 décembre 1898) : G. Leugny. — *Le métropolitain de Paris.* — Depuis le premier projet présenté, en 1856, par Brame et Flachat, il en a été proposé une multitude jusqu'à l'adoption, en décembre 1896, par le Conseil municipal de Paris, d'un projet à voie étroite et à traction électrique comprenant les voies suivantes :

1° Ligne de la porte de Vincennes à la porte Dauphine ;
2° Ligne circulaire par les boulevards extérieurs ;
3° Ligne de la porte Maillot à Ménilmontant ;
4° Ligne de la porte de Clignancourt à la porte d'Orléans ;
5° Ligne du boulevard de Strasbourg au pont d'Austerlitz ;
6° Ligne du cours de Vincennes à la place d'Italie par le pont de Bercy.

La loi du 30 mars 1897, déclarant d'utilité le métropolitain, approuva le projet sous la réserve que la largeur maxima du matériel roulant serait fixée à 2m,40 et que la voie adoptée serait la voie normale, à écartement de 1m,44 entre les bords intérieurs des rails.

La dépense est estimée à 180 millions. L'auteur décrit les principales dispositions du tracé, de la section et des stations.

Dans l'article du 10 janvier 1899, il décrit le réseau en cours d'exécution, porte de Vincennes, porte Maillot, avec embranchements de l'Étoile à la porte Dauphine et au Trocadéro, réseau qui devait être livré à l'exploitation à l'ouverture de l'Exposition.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Bulletin de la Société d'Encouragement (janvier 1899) : P. Renaud. — *L'électrotechnie agricole en Allemagne.* — Dans cet important article, illustré par de nombreux dessins, l'auteur exa-

mine successivement : la production de l'énergie électrique, son transport, son utilisation. Cette dernière s'applique à un grand nombre de travaux extérieurs ou intérieurs à la ferme, parmi lesquels ceux de labourage et de défoncement, de transport des matières, de mise en grange, de battage, sont, le premier surtout, très complètement étudiés, soit au point de vue technique, soit au point de vue de la dépense.

Le Génie civil (25 février 1899) : A. Dumas. — *Distribution d'eau de la ville d'Yport.* — L'originalité de cette distribution c'est que les sources qui l'alimentent sont des sources situées sur le rivage à 40 mètres du pied de la falaise. Ces sources, dites « les Fontaines », sont, à chaque marée, recouvertes par la mer, qui, lors des fortes marées, s'élève jusqu'à $3^m,50$ au-dessus d'elles. Leur débit atteint 1.000 à 1.500 litres par seconde.

L'eau est prise, partie à la source principale qui jaillit d'une grande crevasse du rocher siliceux recouvert par les galets, partie au pied de la falaise, à l'entrée d'une galerie naturelle, par où, paraît-il, l'eau sortait autrefois. Un puits de 12 mètres de profondeur a permis de la capter dans cette dernière place.

Pour être distribuée dans la ville, l'eau est élevée jusqu'en haut de la falaise par une conduite de 125 millimètres de diamètre qui parcourt une galerie horizontale de 50 mètres de longueur et un puits vertical de 75 mètres d'élévation, creusés dans la falaise.

Les machines élévatoires, au nombre de deux, chacune de 6 chevaux, se composent d'un moteur à pétrole et d'un jeu de pompes.

Elles élèvent l'eau à $86^m,60$ dans un réservoir de 300 mètres cubes, d'où part un réseau de 4.000 mètres environ de conduites alimentant la ville, à raison de 130 litres par jour et par habitant.

L'expérience a montré que, à marée haute, même par tempête, avec 3 mètres d'eau sur la source, la force de jaillissement est assez grande pour que l'eau aspirée soit absolument douce sans le moindre goût de sel.

La commune a pris à sa charge la construction et l'exploitation. Le prix de l'installation complète s'est élevé à 78.500 francs.

F. D.

IX. — Électricité appliquée.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens (4 janvier 1899) : Brunswick. — *Coupe-circuits et interrupteurs.* — L'auteur montre la nécessité qu'il y aurait à établir une entente entre les électriciens et les constructeurs d'appareils électriques, comme cela a eu lieu à l'Étranger pour unifier les filetages, déterminer les conditions de rupture de courant, la densité de courant, la section à admettre, etc.

Divers constructeurs, MM. Vedovelli, Mornat, etc., présentent leurs appareils et font connaître leur opinion.

—— (1er février 1899) : La discussion sur la communication précédente continue et porte principalement sur les coupe-circuits à haute tension. M. Grosselin fait un plaidoyer en faveur de l'emploi de l'huile autour des fils fusibles pour les hautes tensions. M. Korda préconise l'emploi de l'ambroïne comme isolant.

M. Sarcia fait ensuite une communication sur le tramway à accumulateurs d'Ostende, dont l'analyse est donnée plus loin (p. 338).

—— (1er mars 1899) : Maurice Leblanc. — *Sur les récupérateurs d'énergie et les transformateurs-redresseurs.* — M. Leblanc continue la série de ses intéressantes études sur les appareils à courants alternatifs de son invention. Il donne aujourd'hui la description d'appareils mécaniques oscillants jouant un rôle analogue aux condensateurs; il décrit aussi ses transformateurs-redresseurs, déjà bien connus, qui permettent de transformer en un courant continu un système de courants polyphasés; il fait connaître à cette occasion de nombreux détails inédits, en ce qui concerne la construction et le fonctionnement de ces appareils dont il donne des exemples d'application.

Éclairage électrique (7 janvier 1899) : J. Reyval. — *Les progrès de l'industrie électrique en* 1898. — Coup d'œil d'ensemble sur les modifications apportées dans les procédés de génération et de distribution de l'énergie électrique et dans les applications de l'énergie. Dans ces dernières, la place prépondérante est

donnée à la traction électrique, qui s'étend de plus en plus sur les lignes métropolitaines, et bientôt sur quelques grandes lignes.

—— (7 janvier 1899) : R.-B. Ritter. — *Les commutatrices.* — A propos des commutatrices, l'auteur décrit plus particulièrement celles de la maison Alioth de Bâle, dont il indique la construction, le montage et le réglage. Il y joint quelques considérations sommaires de calcul.

—— (14 janvier 1899) : R.-S. Hale et F.-S. Codman. — *La tarification de l'énergie électrique aux États-Unis.* — Bien que la consommation de l'énergie électrique en Amérique soit trois ou quatre fois plus grande par habitant qu'en Angleterre et sur le continent, les tarifs de vente n'y sont pas établis aussi rationnellement que dans quelques-unes des installations européennes; ils sont très nombreux et très variés; la tendance générale es vers le système de Wright; mais il faudrait pouvoir remplacer les paiements mensuels et hebdomadaires par des paiements annuels.

—— (28 janvier 1899) : Reyval. — *Les appareils de chauffage électriques chez Parvillée frères.* — Ces appareils consistent en une sorte de porcelaine, mélangée d'une poudre métallique très fine formant un mélange à peu près homogène. On forme ces poudres en baguettes plus résistantes au centre qu'aux extrémités. Elles peuvent supporter la température du rouge blanc. L'auteur compare ce système à ceux employés jusqu'ici.

—— (28 janvier 1899) : Tripier. — *Retour par la terre pour tramways électriques.* — Analyse d'une étude intéressante de M. Parshall, présentée à l'Institution des Électriciens anglais et dans laquelle il discute et compare les différents modes de connexion des rails, leur résistivité en fonction de leur composition chimique et la répartition du courant dans le sol. A en croire cet auteur, le sol serait extraordinairement conducteur. Mais ces résultats cadrent trop peu avec ceux connus jusqu'ici pour pouvoir être acceptés sans autre justification.

—— (4 février 1899) : Paul Dupuy. — *Automobiles électriques Columbia.* — Description bien illustrée et très détaillée des voitures

à accumulateurs construits par la Pope Manufacturing Company. La suspension, les engrenages, moteurs, etc., sont bien étudiés; les accumulateurs sont beaucoup moins satisfaisants et doivent être remplacés par d'autres par la Compagnie française, qui va exploiter bientôt ce système.

— (4 février 1899): G. Richard. — *Lampes à arc.* — Description, d'après les brevets, d'un certain nombre de lampes nouvelles, parmi lesquelles la lampe différentielle de Brillié et Vigreux, et les lampes enfermées de Davis et Thomson-Houston.

— (4 février 1899) : *Tramways électriques de Middlesbrough, Stockton et Thornaby.* — Description d'une installation nouvelle de tramways s'étendant sur plusieurs villages anglais et desservie par des sous-stations à courant continu, alimentées par une station génératrice unique à courant triphasé. Cette installation peut être considérée comme la plus parfaite d'Angleterre, à cause du soin apporté à sa construction. Le réseau a 15 kilomètres, et en aura bientôt 50; les rampes sont faibles et peu nombreuses; les voitures sont à bogies, à soixante places assises. L'usine comprend plusieurs unités de 300 kilowatts, alternateurs Thomson-Houston, triphasés à 2.500volts. Ce courant est transformé par des transformateurs statiques et des convertisseurs à l'usine même et à la sous-station de Newport. L'usine contient en outre une batterie d'accumulateurs Tudor de 240 ampères-heures de capacité.

— (11 février 1899) : Houllevigue. — *L'électricité à Lyon en* 1898. — Aperçu intéressant des progrès réalisés depuis quelque temps à Lyon pour l'éclairage et la force motrice. L'auteur estime que le matériel électrique, en service normal à Lyon, représente actuellement une puissance d'environ 14.000 chevaux, dont 5.000 pour les tramways, 7 à 8.000 pour l'éclairage, 1.000 à 2.000 pour la force motrice d'atelier, soit environ moitié de la puissance des moteurs à vapeur en service dans l'agglomération lyonnaise.

— (11 février 1899): Reyval. — *Les tramways électriques de la Compagnie des Omnibus et Tramways de Lyon.* — La Compagnie des Omnibus et Tramways de Lyon, qui avait déjà adopté depuis plusieurs années la traction électrique sur diverses lignes, l'a éten-

due, l'an dernier, à l'ensemble de son réseau (65 kilomètres environ). Le système est partout le système à trôlet, sauf sur quelques tronçons d'une longueur totale de 3.500 mètres, où l'emploi du caniveau a été imposé. L'auteur décrit avec détails l'usine génératrice de la rue d'Alsace, comprenant quatre groupes électrogènes de 450 kilowatts.

Les voitures automotrices, munies de deux moteurs et du frein électrique, sont de deux types, avec ou sans impériale.

—— (11 février 1899) : E. Sarcia. — *Tramways électriques à accumulateurs de la ville d'Ostende.* — La ligne a 4 kilomètres, l'équipement électrique est du système Westinghouse ; les batteries sont du système Sarcia et du système Julien. L'installation a donné de très bons résultats, car le prix de revient est descendu au chiffre très bas de 0 fr. 196 le kilomètre-voiture, qu'on peut même ramener à 0 fr. 138. L'ingénieur de la ligne, M. de Cuyper, attribue ces résultats au soin de l'installation et de l'exploitation, mais il faut remarquer qu'il n'a pas encore eu à faire de renouvellement de plaques, ce qui relèvera plus tard ces chiffres.

La consommation d'énergie a été de 650 watts-heure au tableau et a demandé 2 kilogrammes par kilomètre-voiture, résultat remarquable pour une machine de 60 chevaux. Les essais des moteurs ont montré l'influence du vent sur la consommation et la vitesse. La consommation moyenne en palier était de 343 watts pour une voiture de $12^{T},5$.

—— (18 février 1899) : J. Reyval. — *Accumulateurs électriques.* — Revue de différents progrès réalisés récemment dans la théorie et la construction des transformateurs ; théorie nouvelle de M. Hoppe ; construction des plaques des accumulateurs Marquand, Pescetto, etc.

—— (18 février 1899) : Auvert. — *Locomotives électriques à grande vitesse de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.* — Reproduction d'un article extrait de *la Revue générale des Chemins de fer* de novembre 1898. Cet article, bien illustré, comprend la description de la locomotive, les règles à suivre pour la conduire et les résultats des essais qui ont été faits avec elle.

—— (26 février 1899) : G. Richard. — *Applications mécaniques de l'électricité.* — L'auteur continue la revue des brevets pris

récemment sur ce sujet. Il décrit, en particulier, avec l'aide de figures, l'appareil Ducousso pour la manœuvre électrique des aiguilles et signaux des chemins de fer; l'arrêt automatique à distance Reynolds, l'inscripteur Andrews; l'horloge électrique Fischer, le sélecteur Crofoot et Granger.

— (4 et 11 mars 1899) : F. GUILBERT. — *Les commutatrices.* — L'auteur publie des résumés étendus des mémoires écrits récemment sur cette question par MM. Steinmetz, Kapp, de Marchena et S.-P. Thompson. Ces divers mémoires, tout en contenant plusieurs parties communes, ne font pas double emploi.

— (4 et 25 mars 1899) : H. ARMAGNAT. — *Sur les compteurs d'électricité.* — Descriptions avec figures, d'après les brevets, des compteurs Hummel, Aron, Ferranti, de l'indicateur à maximum de Wright, du compteur de temps Cauderay, des mécanismes à prépaiements de Beaumont, Browne, Emmott, Dobston-Watson, etc.

— (11, 18 et 25 mars 1899) : LOPPÉ. — *Sur les accumulateurs électriques.* — L'auteur donne une analyse détaillée et très intéressante d'un ouvrage récemment publié en allemand par M. Schopp. Il passe successivement en revue les matériaux de construction des accumulateurs, les supports d'électrode, les méthodes d'empâtage des supports et de formation des électrodes et les procédés d'essais des accumulateurs.

— (18 mars 1899) : Aimé WITZ. — *Les stations centrales de hauts-fourneaux.* — L'auteur explique un nouveau perfectionnement important de l'industrie des hauts-fourneaux, qui consiste à utiliser les gaz provenant de ceux-ci dans des moteurs à gaz actionnant des dynamos. On peut ainsi produire plus de 2.000 chevaux par fourneau de 100 tonnes. Cette puissance sera employée en partie, comme par le passé, à mouvoir les appareils accessoires et à chauffer les chaudières et l'air insufflé et le reste pour distribuer de l'énergie dans les usines et régions environnantes. C'est à M. Thwaite qu'on doit cette idée, dont il fit la première application en Écosse. Malgré les difficultés que présentait l'emploi de ces gaz dans les hauts-fourneaux, on est arrivé à les utiliser déjà dans plusieurs usines,

notamment à Seraing et à Hoerde. La Société Cockerill construit déjà des moteurs de 1.000 chevaux en vue de cette application.

—— (18 mars 1899) : *L'utilisation des forces motrices du Rhin de Schaffouse à Bâle.* — Le canton de Zurich se propose de monopoliser les forces motrices du Rhin sur tout son parcours dans le canton et de distribuer électriquement 25.000 chevaux dans les districts environnants et particulièrement à Zurich et à Wintherthur. L'énergie serait produite en courant triphasé à 10.000 volts dans quatre usines. Le prix de revient du cheval-an serait de 126 francs aux bornes des transformateurs, et de 212 aux lieux d'utilisation; les prix de vente varieraient entre 160 et 500 francs, suivant la puissance.

L'Industrie électrique (10 janvier 1899) : Hospitalier. — *Sur l'emploi des hautes tensions dans la transmission de l'énergie.* — L'auteur fait connaître, d'après les périodiques américains, les résultats d'essais de transmission en courants triphasés à très haute tension exécutés par les ingénieurs de la Compagnie Westinghouse, d'abord à Telluride, puis à Provo, dans l'Utah. On est arrivé jusqu'à 59.000 volts, et on a pu maintenir des isolements convenables; mais, au-delà de 45 à 50.000 volts, il se produit des décharges entre fils à travers l'air qui entraînent des pertes disproportionnées. Une puissance de 500 kilowatts est transmise actuellement à 56 kilomètres sous une tension de 40.000 volts.

La dépense afférente à la ligne permet de franchir économiquement une distance en kilomètres égale à 5 fois la tension efficace en kilowatts.

—— (25 janvier 1899) : Schoop. — *Méthode pratique pour déterminer les composantes de la capacité d'un accumulateur électrique.* — L'auteur insiste sur le fait connu que la capacité totale d'un accumulateur est la somme des capacités des deux électrodes; il indique une méthode reposant sur l'emploi d'une électrode supplémentaire qui permet d'étudier les forces électromotrices séparément. Il montre tout l'intérêt qu'il y a à étudier à part les différentes composantes de l'accumulateur.

—— (25 janvier 1899) : Ritter. — *L'usine électrique de Moutiers.* — L'auteur décrit une récente installation, faite dans le Jura

bernois, à Moutiers, par la Société Alioth dont le matériel est employé. L'une, située à $2^{km},5$ de Moutiers, contient une turbine de 100 chevaux actionnant un alternateur triphasé à 2.000 volts. La ligne est aérienne en fil nu, isolée seulement aux croisements ; les transformateurs sont placés dans des kiosques et alimentent l'éclairage public et privé; le prix du cheval revient à 750 francs sur l'arbre des turbines et à 1.627 aux bornes des lampes.

—— (10 février 1899) : *Lampes à arc différentielles de MM. Vigreux et Brillié.* — On sait que jusqu'à présent les régulateurs à arc exigent l'emploi d'une résistance en série assez importante, nécessaire pour assurer la stabilité du régime. La lampe de MM. Vigreux et Brillié économise l'emploi de cette résistance et, par suite, environ 25 0/0 sur l'énergie. Ils obtiennent ce résultat grâce à la sensibilité et au bon amortissement du système moteur, qui corrige avec une grande précision tous les écarts de régime. L'article contient la description de la lampe, la discussion de son économie et en signale l'application dans les magasins du Bon Marché.

—— (10 et 25 février 1899) : De Marchena. — *Fonctionnement d'un convertisseur rotatif donnant des tensions variables avec la charge.* — L'auteur examine par le calcul comment doit être employé un convertisseur pour faire augmenter ou diminuer la tension aux bornes quand la charge augmente.

Dans le premier cas, une excitation simple, shunt ou indépendante, doit être employée; dans le second cas, il est indispensable de recourir à une excitation compound. L'auteur cherche par un calcul approximatif à déterminer les meilleures conditions pour le fonctionnement de l'appareil dans ces deux cas.

—— (25 février 1899) : E. Hospitalier. — *La lampe Nernst.* — L'auteur fait connaître sommairement le principe de la nouvelle lampe de M. Nernst de Gœttingue, basée sur l'emploi d'un bâton de magnésie ou de matière réfractaire, rendu conducteur par chauffage préalable (par une lampe à alcool ou par une spirale de platine) et rendu incandescent par le passage d'un courant alternatif. Cette lampe ne consommerait que 1,5 watt par bougie Hefner (soit 2 watts par bougie française).

Ce système diffère très peu de celui qu'avait déjà imaginé Jablochkoff, en 1877, et qui reposait exactement sur les mêmes principes. La lampe Nernst ne peut être encore jugée maintenant, faute de résultats d'expériences suffisants.

—— (25 février 1899) : A. Blondel. — *Nouvelle lampe étalon à l'alco-benzol.* — L'unité pratique de lumière adoptée par le Congrès des Électriciens de Genève en 1896 est la lampe Hefner à l'acétate d'amyle. Mais cette lampe à l'air libre a une flamme très instable et, d'autre part, le liquide qu'elle brûle ne se trouve pas en France à un état de pureté suffisant. L'auteur a imaginé un appareil plus pratique, dans lequel la flamme est mise à l'abri des courants d'air par une cheminée en métal noirci munie de verres obliques, et il a réalisé un liquide combustible bien défini et facile à se procurer par le mélange de 16 volumes de benzine cristallisable avec 84 d'alcool absolu.

Cette lampe, moins difficile à manier que la Carcel, est construite par M. Pellin.

—— (10 mars 1899) : *Plate-forme électrique à deux vitesses pour l'Exposition de* 1900. — L'auteur décrit la plate-forme roulante d'essai installée à Saint-Ouen, d'après le système Guyenet et de Mocomble. C'est une réduction au 1/10 environ de la grande plate-forme de 4 kilomètres de tour qui figurera à l'Exposition. Elle est actionnée par des moteurs Alioth à cage d'écureuil, à 25 périodes, à 720 tours, montés par 4 en série sur 200 volts et développant chacun 3,5 chevaux. Ils sont alimentés par un alternateur à fer tournant. Pour le démarrage, on fait tourner l'alternateur à une vitesse d'abord très réduite.

—— (25 mars 1899) : *Comparaison de l'éclairage par lampes à arc montées par deux ou trois en tension sur les distributions à* 110 *volts.* — L'auteur analyse les résultats des expériences de M. Wedding pour comparer le rendement des anciennes et des nouvelles lampes Hefner (ancien et nouveau système), fonctionnant par deux autrefois et par trois aujourd'hui en série sur les réseaux à 110 volts. Les résultats photométriques sont à peu près équivalents; mais les résultats économiques sont en faveur du second type.

—— (25 mars 1899) : Guilbert. — *A propos de la théorie des commutatrices de M. Kapp.* — L'auteur reprend les calculs faits par

M. Kapp dans un article cité plus haut (p. 339) et montre qu'ils sont en partie inexacts.

A. B.

X. — Architecture.

L'Architecture (25 février 1899) : L.-C. Boileau. — *Reconstruction de la gare de Tours.* — La nouvelle gare se compose d'un grand hall, à deux nefs, de 62 mètres d'ouverture totale et de 176 mètres de longueur, abritant huit voies accessibles par trottoir. Il est accompagné de bâtiments de service sur sa longueur et terminé par une façade monumentale.

Cette façade, réduite à un simple écran, se compose de deux vastes baies sous pignons, en plein cintre, comprises chacune entre deux robustes pylônes demi-circulaires couronnés par des statues.

L'auteur de cette imposante composition est M. l'architecte Laloux, qui a obtenu, au concours, l'exécution architecturale de la nouvelle gare du quai d'Orsay à Paris.

Revue du Génie militaire (janvier 1899) : Larchier. — *Note sur les nouveaux pavillons militaires de l'hôpital mixte Saint-Nicolas, à Verdun.* — L'accroissement de la garnison de Verdun a obligé d'augmenter l'hôpital mixte Saint-Nicolas. Deux pavillons à double étage, pouvant contenir chacun cinquante lits ont été construits à cet effet. Les sous-sols ont 2 mètres de hauteur, et les combles sont disposés pour recevoir au besoin des malades. Les salles ont $8^{m},50$ de largeur et 4 mètres de hauteur. La ventilation se fait, pour l'évacuation de l'air vicié, au moyen d'appareils Renard ; et, pour la rentrée de l'air, en utilisant en hiver le tirage des poêles et en produisant en été un appel d'air artificiel dans les cheminées.

XI. — Administration. — Législation.

Le Génie civil (28 janvier 1899) : E. Levasseur. — *Le taux du salaire aux États-Unis.* — L'auteur donne, d'après le *Bulletin du Travail* des États-Unis trois graphiques montrant :

Le premier, les salaires journaliers moyens de l'industrie dans quelques villes des États-Unis et d'Europe, pour les années comprises entre 1870 et 1890 ;

Le second, les salaires moyens, pour la même période, dans les principales industries aux États-Unis :

Le troisième, la moyenne générale des salaires dans l'industrie (25 professions), aux États-Unis (12 villes), en Angleterre, (3 villes), en France (Paris), en Belgique (Liège).

Cette moyenne générale serait, en 1896 :

Pour les États-Unis.........	2,46 dollars
Pour l'Angleterre..........	1,50 —
Pour Paris.................	1,32 —
Pour Liège................	0,66 —

Revue politique et parlementaire (décembre 1898) : Ch. Roux. — *Voies navigables et voies ferrées.* — L'auteur plaide la cause du canal du Rhône à Marseille et du canal d'Alais au Rhône. Il s'attache aussi à réfuter M. Noblemaire s'élevant contre les libéralités de l'État en faveur des voies navigables.

XII. — Divers.

Le Génie civil (7 janvier 1899) : *L'utilisation des forces motrices du Rhin en Suisse.* — Le Rhin, depuis la chute de Laufen, au-dessous de Schaffhouse, jusqu'à Bâle, coule sur une longueur de 220 kilomètres avec une dénivellation de 107 mètres, ce qui représente une pente de 5 millimètres par mètre.

Certains points de ce parcours, où existent des chutes d'eau ou des rapides, se prêtent particulièrement à l'installation d'usines hydrauliques, dont la puissance motrice peut être évaluée comme il suit :

EMPLACEMENTS	DÉBIT moyen par seconde	HAUTEUR de chute	CHEVAUX-VAPEUR mesurés sur les arbres des turbines
	mètres cubes	mètres	
1° Chute du Rhin (Laufen).....	46	23	10.600
2° Rheinau..................	93	7	6.500
3° Eglisau....................	115	7	8.000
4° Kaiserstuhl (Weiach).......	122	4,5	5.500
5° Laufenbourg...............	150	8	12.000
6° Rheinfelden..............	210	7,5	15.700
7° Aeugst....................	200	5	10.000

Soit un total de 57.300 chevaux-vapeur.

Une partie de cette force motrice est déjà utilisée. Le canton de Zurich se propose de monopoliser celle dont il peut disposer, c'est-à-dire la moitié de la force des quatre stations de Laufen, Rheinau, Eglisau et Weiach, l'autre moitié appartenant par mitoyenneté, pour les deux premières stations, au canton de Schaffhouse, et pour les deux dernières, au grand-duché de Bade.

Le canton de Zurich pourra ainsi disposer de 25.300 chevaux-vapeur pris sur les arbres des turbines. Cette force, transformée en énergie électrique, sera distribuée dans les villes et dans les villages du canton, principalement à Zurich et à Winterthur, pour y donner de la force motrice et de la lumière.

L'énergie serait livrée par le canton au prix coûtant, qu'on estime, eu égard au prix de la houille amenée de Saarbruck, devoir être sensiblement inférieur à celui de la force produite par les machines à vapeur les plus perfectionnées.

Revue industrielle (18 février 1899): Ph. Delahaye. — *Opinion du général américain Abbot sur le canal de Panama et sur le projet de canal du Nicaragua.* — Le général américain Abbot, membre du Comité international technique de la nouvelle Compagnie de Panama, donne au canal de Panama la préférence sur le projet de canal du Nicaragua, pour plusieurs motifs dont les principaux sont les suivants :

Le canal de Panama est, dès à présent, pourvu de deux bons ports à ses extrémités et d'un chemin de fer dans leur intervalle. La construction en est presque terminée sur les deux cinquièmes de la longueur totale, qui est seulement de 73km,6 (au lieu des 281 kilomètres du canal du Nicaragua). Il n'y a pas de volcan en activité dans un rayon de 320 kilomètres du canal de Panama, tandis que deux volcans en activité menacent le canal du Nicaragua. La dépense du canal de Panama, minutieusement établie sur des plans détaillés, monte à environ 500 millions de francs, tandis que celle du canal de Nicaragua, estimée par la Commission du Gouvernement des États-Unis, sur des données reconnues insuffisantes, s'élève à environ 665 millions.

F. D.

PÉRIODIQUES ALLEMANDS.

I. — Sciences appliquées.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur wesen (1898, fascicules 7 et 8) : Rascher. — *Calcul statique des charpentes dans l'espace.* — Étude analytique de cette question, qui trouve son application notamment dans la charpente des coupoles.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Centralblatt der Bauverwaltung (17 et 24 décembre 1898) : Hans-W. Schultz. — *Le nouveau pont sur le Rhin, à Bonn.* — Compte rendu, avec figures à l'appui, des travaux de construction d'un pont sur le Rhin, récemment ouvert à la circulation entre la ville de Bonn et le faubourg de Beuel. Le pont proprement dit a une longueur totale de 431^{m},815, comprenant : une grande travée centrale avec poutres paraboliques de 186^{m},57 de débouché, deux travées latérales en arc de cercle de 86^{m},25 et 88^{m},25 d'ouverture, et une quatrième travée de rive de 32 mètres. Les rampes d'accès des abordssont raccordées à l'ouvrage par neuf arches en maçonnerie, dont sept sur la rive de Bonn et deux sur la rive opposée. L'ouvrage, établi avec une largeur totale de 14 mètres, donne passage à une route avec tramway électrique. La dépense totale de construction s'est élevée à 5 millions de francs.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur wesen (1898, fascicules 7 et 8) : A. Rieppel. — *Construction des nouveaux ponts allemands.* — Cet article donne, avec de nombreuses figures dans le texte et deux planches d'atlas, des renseignements généraux sur le système de construction des ponts récemment établis en Allemagne. Il se divise en trois parties, qui traitent successivement des ponts à poutres droites, des ponts en arc et des ponts suspendus. De nombreuses figures et un tableau récapitulatif font connaître les dispositions et les dimensions principales de ces ouvrages, au nombre de vingt et un.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architektur-Vereines (23 décembre 1898) : J. Melan. — *Le nouveau pont de l'école de natation à Steyr.* — Compte rendu, avec figures et une planche d'atlas à l'appui, des travaux de construction d'un pont-route en béton armé. L'ouverture de l'ouvrage est de 42 mètres; sa largeur de 6 mètres. L'armature se compose de six poutres en treillis formant arcs de cercle avec articulations aux naissances et à la clef. La voûte en béton a une épaisseur de $0^m,60$ à la clef et de $0^m,70$ aux naissances. La pression maxima sur le béton, la voûte étant chargée, atteint $26^{kg},2$ par centimètre carré à la clef et 29 kilogrammes aux naissances. L'ouvrage, qui a une apparence de légèreté très remarquable, a coûté au total 33.000 florins (soit 69.300 francs).

V. — Travaux maritimes.

Centralblatt der Bauverwaltung (10 décembre 1898) : Horn. — *Les jetées maritimes en Hollande.* — L'article donne quelques renseignements très succincts sur l'établissement des diverses jetées dans les ports de la Hollande, notamment à Rotterdam, Harlingen, Staforen, Lemmer, ainsi que sur les digues du Sloe et de l'Escaut. Quelques figures dans le texte accompagnent l'article.

Oesterr-Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (janvier 1899) : *Les nouvelles installations du port de Hambourg.* — L'article donne quelques chiffres sur la fréquentation et le trafic du port de Hambourg ; le trafic maritime est représenté par les chiffres suivants :

En 1882.....	6.189	bateaux avec	2.030.990	tonnes
En 1889.....	8.079	—	4.809.892	
En 1895.....	9.413	—	6.812.394	

Quant à la navigation fluviale, les chiffres ci-dessous donnent une idée de son développement :

En 1882.....	9.380	bateaux avec	1.435.443	tonnes
En 1889.....	12.385	—	2.349.527	
En 1895.....	14.135	—	3.076.421	

Zeitschrift für Bauwesen (1899, fascicules 1 à 3) : FRIEDRIECH KRAUSE. — *Les nouvelles installations du port de Stettin.* — Compte rendu, avec figures dans le texte et trois planches d'atlas, des importantes installations qui ont été faites, de 1894 à 1898 pour desservir le port de Stettin. Ces installations ont coûté une somme totale de 12.562.000 marks (soit plus de 15.700.000 francs). Elles comprennent principalement deux grands bassins, de 100 mètres de largeur, l'un de 980 mètres de longueur, l'autre de 1.200 mètres, bordés par des murs de quai sur lesquels sont établis des magasins desservis par des voies, avec de nombreuses grues pour le chargement et le déchargement des marchandises. Le bâtiment des machines comprend toutes les installations nécessaires pour l'éclairage électrique et la manœuvre des appareils au moyen de l'eau sous pression.

—— (1899, Fascicules 1 à 3): BENOIT et ROLOFF. — *Histoire de la construction du port de Kolberg.* — L'article, accompagné de figures et de deux planches d'atlas, est consacré au commencement de l'histoire de ce port, situé sur la mer Baltique, à 1.500 mètres environ de la ville du même nom. Il comprend d'abord l'histoire du port depuis les temps les plus reculés jusqu'à la réunion de la ville à l'État prussien, en août 1837, puis la description des installations faites depuis cette époque, en ce qui concerne les deux digues qui forment le pont proprement dit et les jetées en mer, qui en constituent l'entrée.

—— (1899, fascicules 1 à 3) : FÜLSCHER. — *La construction du canal de l'Empereur-Guillaume.* — Continuation du compte rendu des travaux (Voy. *Annales des Ponts et Chaussées*, 4e trimestre 1898, p. 257). L'article, accompagné de figures dans le texte et de deux planches d'atlas, est spécialement consacré à la description du pont de Levensau. Cet ouvrage est formé d'une seule travée métallique de 163m,40 de portée ; il donne passage simultanément à un chemin de fer et à une route qui franchissent le canal en cet endroit. Il est constitué au moyen d'arcs paraboliques en fer, qui supportent à leur partie supérieure le tablier. La largeur de l'ouvrage est de 12m,60 d'axe en axe des poutres. Les deux extrémités du pont sont décorées de portiques en maçonnerie très importants. La dépense totale de l'ouvrage s'est élevée à 4.270.000 marks (soit

5.337.500 francs). Le poids de la superstructure métallique est de 2.780 tonnes.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architecten-Vereines (6 janvier 1899) : Jos. Riedel. — *L'amélioration du passage du canal de Manchester.* — Quelques renseignements sur le projet d'élargissement du canal de Manchester. L'article compare, dans le tableau ci-dessous, les dimensions des principaux canaux maritimes :

	LONGUEUR en KILOMÈTRES	LARGEUR au plafond EN MÈTRES	PROFONDEUR d'eau EN MÈTRES	PROFIL mouillé en mètres CARRÉS
Canal de Suez (état actuel).......	160	34,80	8,50	448
— (état futur)........	160	70	9	837
Canal de Nicaragua (projet).......	275	36,6	8	416
Canal de Manchester (état actuel)..	57,1	34,8	8	384
— (état futur)...	57,1	36,6	8,6	406
Canal de la Mer du Nord à la Baltique (en basses eaux).........	98,5	22	8,5	384
Canal de Suez (avant l'élargissement)	160	22	8	311
Canal de Panama (projet).........	74	22	8,5	306
Canal de Corinthe................	6,3	22	8	189

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Centralblatt der Bauverwaltung (7 janvier 1899) : Kohn. — *Éclisses renforcées, éclisses cornières et autres questions de superstructure.* — L'article donne quelques renseignements au sujet de l'emploi, sur les chemins de fer prussiens, des éclisses cornières ordinaires et de ces mêmes éclisses, renforcées par un prolongement vertical au-dessous du patin du rail.

Oesterr. Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (décembre 1898) : J.-L. Algermissen. — *Le nouveau pont sur le Rhin, à Düsseldorf, et la ligne d'intérêt local de Düsseldorf-Krefeld.* — L'article, accompagné de figures et de deux planches d'atlas, donne de nouveaux détails sur le pont de Düsseldorf dont nous avons déjà rendu compte (Voy. *Annales des Ponts et Chaussées*, 4[e] trimestre 1898, p. 247). Il fait connaître, en outre, les conditions d'établissement de la ligne d'intérêt local de Düsseldorf à Krefeld, qui franchit le Rhin sur cet ouvrage. Cette ligne, de

22 kilomètres de longueur, est armée en rails Vignole de 12 mètres de longueur, posés sur quinze traverses métalliques, et pesant $27^{kg},5$ par mètre courant. Elle est exploitée électriquement, avec trôlet, au moyen d'un courant de 600 volts. En voie libre, la vitesse des trains peut être de 40 kilomètres à l'heure.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (décembre 1898) : Max Edlem de Leber. — *Évaluation de la vitesse sur les chemins de fer, notamment sur les lignes d'intérêt local.* — Courte étude de cette question, avec tableaux graphiques qui permettent de déterminer la vitesse par une simple lecture.

—— (Janvier 1899) : Von Borries. — *Nouveaux progrès dans la construction des locomotives.* — L'article, accompagné de figures, est consacré à la description d'une locomotive pour trains express des chemins de fer de Pfälz. Cette machine comporte cinq essieux, dont deux formant bogie à l'avant, deux essieux couplés et un essieu porteur à l'arrière. Elle pèse $58^{T},5$ en service et peut développer un effort de traction de 5.850 kilogrammes. La chaudière est timbrée à 13 atmosphères; la machine a deux cylindres placés à l'intérieur du châssis.

Zeitschrift für Bauwesen (1899, fascicules 1 à 3) : Bergmann. — *La gare centrale d'Osnabrück.* — Compte rendu, avec cinq planches d'atlas à l'appui, des travaux d'établissement de la nouvelle gare d'Osnabrück, dont la dépense totale s'est élevée à 665.000 marks (soit 831.250 francs), ce qui donne, pour 1 mètre carré de surface couverte, une dépense de 210 marks (soit 262 fr. 50). Les dessins joints à l'article donnent des détails complets sur les dispositions adoptées.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-Vereines (9 décembre 1898) : M. Kraft. — *Bandage de roues, système Hönigswald.* — Courte description, avec figures, d'un système de bandages pour les roues des véhicules de chemins de fer, avec indication du procédé de montage, qui consiste à introduire le bandage à chaud et à obtenir le serrage par le refroidissement.

—— (30 décembre 1898) : N. Post. — *Le chemin de fer de Shan-*

ghat à Wusung. — Quelques renseignements sur cette ligne, dont l'ouverture à l'exploitation a eu lieu le 2 novembre 1898.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-Vereines (2 décembre 1898) : Victor Berdenich. — *L'alimentation en eau de la commune de Faesz.* — L'article est consacré à la description des travaux d'alimentation en eau d'une petite commune de Hongrie. Les besoins de la commune ont été établis d'après les bases ci-dessous :

	Litres.
Pour 300 habitants, par tête et par jour, 40 litres.	12.000
Pour 500 têtes de gros bétail, par tête et par jour, 50 litres	25.000
Pour 500 têtes de petit bétail, par tête et par jour, 10 litres	5.000
Total	42.000

L'article donne tous les détails de l'installation des pompes, des conduites et du réservoir.

VIII. — Machines.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-Vereines (16 décembre 1898) : J. Illeck. — *Le calcul et les dimensions des machines à triple expansion.* — Étude analytique de l'établissement des machines à vapeur à trois cylindres, avec application à une machine de 300 chevaux, dont la vitesse du piston doit être de 2m,50 avec 75 tours à la minute au maximum.

G. H.

IX. — Électricité appliquée.

Elektrotechnische Zeitschrift (5 janvier 1899) : Ernest Vannotti. — *Installation électrique de Paderno d'Adda.* — L'installation hydro-électrique, récemment inaugurée, de Paderno d'Adda, est une des plus considérables et des plus intéressantes de l'Europe. La puissance hydraulique disponible, d'environ 13.000 chevaux, est fournie par une chute de 29 mètres, avec un débit de 45 mètres cubes par seconde. Chaque groupe générateur est

formé d'une turbine Jouval horizontale, accouplée directement à un alternateur Brown-Boveri de 2.160 chevaux tournant à 180 tours par minute. L'excitatrice est montée directement sur l'arbre de l'alternateur. Le courant triphasé produit par les génératrices sous la tension élevée de 13.500 volts est envoyé directement, sans aucune transformation, à la station réceptrice, à Milan, distant de 32.500 mètres, où il subit une première transformation, qui abaisse la tension à 3.600 volts; de là il est distribué dans les sous-stations, qui le transforment en courant continu et le livrent à la consommation sous les tensions usuelles. La distribution est faite à trois fils.

—— (19 janvier 1899) : Max Schiemann. — *Fanal à arc électrique pour voitures circulant sur les voies ferrées.* — Cette lampe à arc, de M. Wagenhals, frappe surtout par sa simplicité, grâce à l'absence de tout mécanisme régulateur. Les pièces essentielles de la lampe sont: un support métallique avec deux potences qui servent de porte-charbons, une ampoule en verre dans laquelle pénètrent les charbons à frottement dur, qui brûlent ainsi en vase clos; enfin, à la partie supérieure, un jeu de leviers qui permettent, par une simple pression sur un bouton, d'amener les charbons en contact pour l'allumage et qui s'écartent ensuite automatiquement. Le réflecteur est un paraboloïde, et l'arc occupe exactement le foyer, ce qui permet de bien concentrer les rayons dont le faisceau éclaire parfaitement la route devant la voiture à 100 ou 150 mètres. Cette lampe peut être employée avec toutes les tensions en usage sur les tramways. Quand elle est appliquée sur les voitures alimentées sous 500 volts, la chaleur perdue dans le rhéostat de la lampe peut servir au chauffage de la voiture. Pour donner une idée du régime de la lampe, nous donnons ci-dessous quelques chiffres fournis par les expériences: sur une voiture à accumulateur dont la batterie fournit 80 volts, la lampe consommait, pour une longueur d'arc d'environ 4 millimètres, un courant de 9 ampères avec 40 volts aux bornes de l'arc et 3 ampères avec 57 volts; sur une ligne alimentée sous 500 volts pour un arc de :

3 millimètres	avec	38 volts	entre charbons,	5,4	ampères
9	—	65	—	5	—.
26	—	125	—	4,4	—
35	—	150	—	4,1	—
45	—	170	-	3,8	—

Pour passer de 3 millimètres de longueur à 4 millimètres, la lampe a brûlé sans extinction pendant dix-neuf heures et demie. Même à 45 millimètres, l'arc était parfaitement régulier et silencieux.

— (26 janvier et 2 février 1899) : Podoski. — *Application des paliers à billes sur les voitures de tramways.* — Après un court historique de la question de l'emploi des rouleaux et des billes pour diminuer les frottements dans les paliers de voitures de tramways, l'auteur décrit des dispositifs plus récents imaginés par M. Schuppiser, ingénieur à Zurich. Des voitures pourvues de paliers à billes ont été mises en service sur plusieurs lignes de tramways de Zurich, et l'auteur a procédé à des essais systématiques pour déterminer l'économie qui en résulte dans la consommation de l'énergie. Il expose tout d'abord la méthode employée, ensuite les expériences elles-mêmes, et enfin les résultats. Il en conclut que les voitures à paliers à billes réalisent une économie d'énergie de 18 à 20 0/0 en moyenne. Reste à savoir dans quelle proportion l'avantage de cette économie sera réduit par un prix de construction plus élevé et par une usure plus rapide.

— (2 février 1899) : Ch. Horst. — *Installation électrique de Para (Brésil).* — Cet article est consacré à la description des travaux de construction de l'usine de Para, exécutés par la maison Siemens et Halske, de Berlin. Para est située dans le delta des Rios Guajara et Tocantins et de l'Amazone, dans un pays couvert de forêts vierges, à 12° de l'Équateur. L'auteur montre quelles difficultés rencontre le constructeur dans les pays tropicaux de ce genre où il n'existe ni voies de communication, ni main-d'œuvre, et où le personnel européen est décimé par la fièvre. Ces difficultés ne peuvent être surmontées qu'au prix de sacrifices d'argent et en s'appuyant sur l'expérience acquise. Au commencement on a voulu employer comme combustible le bois. Mais, malgré le voisinage de la forêt, il a fallu y renoncer faute de main-d'œuvre et de transports, et recourir au charbon importé d'Angleterre par des voiliers. L'usine fournit l'électricité pour l'éclairage de la ville et les tramways.

— (23 février 1899) : Muller. — *Réducteur double pour batterie d'accumulateurs en parallèle avec les générateurs et le circuit de*

distribution. — A l'occasion de l'anniversaire décennal du premier réducteur double qui a été installé à la station centrale de Barmen, l'auteur consacre un article à la description sommaire d'un de ces appareils avec les perfectionnements de détail qui y ont été apportés depuis. Le réducteur décrit est construit pour 28 éléments et 1.800 ampères.

—— (23 février 1899) : *Le funiculaire électrique de Mont-Dore.* — Le funiculaire qui dessert le sanatorium de Mont-Dore a une longueur de 458^{m},88, et la différence de niveau des deux points extrêmes est de 177^{m},24. La puissance motrice est fournie par une station hydro-électrique installée sur la Dordogne, à 2^{km} en aval de Mont-Dore. Le courant triphasé, sous 3.600 volts de tension, est transmis par une ligne aérienne en fil de bronze phosphoreux, au moteur triphasé du funiculaire, qui l'utilise directement sans transformation préalable. La génératrice tourne à 500 tours, le moteur à 490. Une triple réduction abaisse cette vitesse à 4,76 tours par minute sur l'arbre du tambour. La puissance du moteur est de 90 chevaux.

—— (9 mars 1899) : A. Hassold. — *Essais de câbles pour 10.000 volts.* — Les exigences des communes et des particuliers et le danger qui résulte du croisement des routes par les lignes aériennes de transports d'énergie à haute tension ont incité la direction de l'usine électrique de Botzen, qui transmet l'énergie sous 10.000 volts à Méran, distant de 37 kilomètres, à rechercher si l'on pourrait, au croisement de routes, remplacer les fils aériens par des câbles souterrains. Dans ce but, elle a procédé dans son usine à une série d'essais qui ont complètement réussi. Les câbles essayés, fournis par la fabrique de Duisburg, étaient isolés l'un au caoutchouc, l'autre à la cabélite et sous enveloppe de plomb armée à l'extérieur de fils de fer. A l'entrée de l'usine, sur 100 mètres environ, les fils aériens pouvaient être à volonté remplacés par des câbles enfouis dans le sol. Après cinq mois d'essais, l'isolement des câbles était toujours parfait, et ils ont pu supporter sans aucun dommage plusieurs coups de foudre, grâce à la protection d'un parafoudre.

A. B.

XII. — Divers.

Oesterr. Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (janvier 1899) : Anton Klir. — *L'utilisation de la force motrice du Rhône, à Lyon.* — L'article, accompagné de figures dans le texte et de trois planches d'atlas, est consacré à la description des installations faites récemment pour utiliser la force motrice du Rhône à Lyon.

Ces installations comprennent un canal de 18km,6 de longueur, dit canal de Jonage, qui permet d'avoir en eaux moyennes une chute de 14 mètres environ et qui amène les eaux à une usine motrice, dans laquelle sont établies des turbines, qui peuvent fournir un travail de 15.000 à 20.000 chevaux. Cette force motrice sert à la production d'un courant électrique qui est employé à Lyon et aux environs à faire de la lumière et à divers usages. Le prix auquel est livrée la force motrice varie d'après l'échelle suivante, qui donne le prix d'un cheval pendant douze heures :

Pour	1 cheval	720 francs
	2 chevaux	695
	3 —	670
	4 —	645
	5 —	620
	10 —	510
	20 —	360
	50 —	250

G. H.

PÉRIODIQUES ANGLAIS.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Engineering News (décembre 1898) : *Fondations à air comprimé dans des cylindres en bois.* — Le système de fondation, dont il est rendu compte, a été appliqué à New-York pour la construc-

tion de l'hôtel Shepard : il consiste dans le fonçage à l'air comprimé, jusqu'à 15m,85 de profondeur, de cylindres en bois de 2m,02 de diamètre, formés avec des madriers de 10/16. Ces cylindres sont ultérieurement remplis en béton.

Engineering Record (10 décembre 1898) : *Fondations à l'air comprimé pour édifices particuliers.* — Il est rendu compte des fondations faites à l'air comprimé pour la construction de l'hôtel Fabbri, à New-York, au moyen de cylindres en bois de pin de 1m,83 de diamètre intérieur. De nombreux dessins accompagnent le texte.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers : C.-H. — GODFREY. *Effets de la gelée sur la résistance des ciments de Portland.* — L'auteur rend compte des expériences auxquelles il s'est livré au sujet de l'action de la gelée sur le mortier de ciment de Portland. Les principales conclusions que l'auteur tire de son étude sont les suivantes :

La gelée a une action nuisible sur le ciment de Portland. Cette action est d'autant plus à redouter que le ciment y est soumis plus rapidement après son gâchage ;

La perte de résistance s'atténue avec le temps sans cependant que la résistance primitive puisse être de nouveau atteinte ;

La gelée ne suspend que partiellement les actions chimiques qui produisent la prise ;

La pratique des ingénieurs américains de mêler à l'eau de gâchage du sel ordinaire est à recommander et est favorable à la prise du ciment ; la proportion de sel employé en Amérique est de de 5gr,546 par litre d'eau par une température de 0° ; le poids de sel est augmenté de 1 gramme pour chaque abaissement de température de 1° et demi.

III. — ROUTES. — PONTS ET VIADUCS.

American Society of Civil Engineers (novembre 1898) : P.-E. TURNEAUVE. — *Expériences sur l'effet produit par les charges roulantes sur les ponts métalliques.* — Compte rendu d'essais faits par l'auteur sur vingt-deux ponts métalliques de portées diverses variant entre 7m,60 et 62 mètres.

—— (Décembre 1898) : D.-A. MILITOR. — *Arches en maçonnerie à triple articulation.* — L'auteur se propose de montrer qu'étant donnés les progrès récemment faits en France, en Autriche et en Allemagne, les arches en maçonnerie sont destinées à se substituer, dans un grand nombre de cas, aux ponts métalliques; lorsque les portées ne sont pas trop considérables et que le sol de fondation est convenable, on peut en effet réaliser par leur emploi une certaine économie. Il considère que l'emploi de voûtes en béton à triple articulation marque le commencement d'une ère nouvelle pour la construction des ponts en maçonnerie.

Le travail présenté comporte l'établissement des formules applicables à des arcs à triple articulation et leur application à un pont en béton de 72 mètres de portée et de 12 mètres de largeur : les dessins et le métré de cet ouvrage sont également donnés. Le prix en est estimé à 480.000 francs.

—— (Décembre 1898) : R.-S. BUCK. — *Pont en arc pour chemin de fer sur le Niagara.* — L'auteur donne une description complète du grand pont en arc qui franchit le Niagara et dont la portée est de 167^m,75 et des procédés mis en œuvre pour sa construction. Le mémoire est accompagné de nombreux dessins et photographies. (Les *Annales* ont donné le schéma et l'appareil de montage de ce pont dans le volume du 4e trimestre 1898, p. 212.)

Engineering News (20 janvier 1899) : *Ponts en béton armé dans l'Alleghany.* — Les deux petits ouvrages dont il est donné une description d'ensemble et les principaux dessins consistent dans un pont à poutres droites de 8^m,53 de portée et dans un pont en arc de 8^m,53 d'ouverture.

Engineering Record (10 décembre 1898) : *Pont Franklin à Saint-Louis.* — Description et dessin d'un pont en ciment armé de 18^m,30 de portée.

—— (25 février 1899) : *Nouveau pont de Vaux-Hall, à Londres.* — L'ancien pont en fonte de Vaux-Hall, à Londres, doit être remplacé par un pont en béton; ce nouvel ouvrage, de 24^m,38 de largeur, comportera une arche centrale de 44^m,05 de portée et deux arches latérales de 39^m,80 de portée. Les parements seront en granit.

D'après les calculs faits, la pression maximum développée dans les maçonneries atteindra 18kg,6 par centimètre carré. Le béton qui sera employé a résisté aux essais à une pression de 262 kilogrammes par centimètre carré, deux mois après sa confection.

IV. — Navigation intérieure.

Engineering (13, 27 janvier 1899) : Ch. Moberly. — *Le réseau navigable russe.* — L'auteur commence une étude d'ensemble du réseau navigable russe faisant suite à l'étude publiée, en 1897, sur le Volga. Ce réseau peut se diviser en quatre groupes :

1° Voies en communication avec le Volga;

2° Autres voies européennes;

3° Réseau du Caucase;

4° Voies sibériennes;

Le premier article est consacré à la description générale des procédés de construction employés sur les voies navigables russes; les renseignements donnés sont extraits en grande partie d'un ouvrage de M. Lipin, ingénieur des voies de communication, *les Voies navigables de Russie*. La plupart des ouvrages sont établis en charpente et en fascinages : les fascinages sont très utilisés pour les défenses de rive, la fondation des digues et des barrages; ils sont remplis avec du remblai ou de l'argile s'ils doivent être étanches. Les écluses elles-mêmes sont presque toutes en charpente.

La durée des ouvrages est assez faible : elle est estimée à dix ans pour la partie au-dessus de l'eau et à trente ans pour les parties constamment noyées. Les articles suivants sont consacrés à la description des différentes parties du réseau, et les renseignements donnés sont empruntés à plusieurs publications russes.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (1898, t. IV) : J.-H. Bartlett. — *Transport du charbon sur l'Ohio et le bas Mississipi.* — Le transport du charbon sur l'Ohio et le Mississipi s'exécute dans des conditions des plus remarquables, tant par la longueur de la route parcourue que par les difficultés surmontées et par l'importance des opérations effectuées.

La navigation sur l'Ohio n'est possible que pendant six mois de l'année irrégulièrement répartis.

Le matériel de transport comprend trois types de bateaux : les bateaux plats, les chalands et les gabarres à charbon.

Les bateaux plats portent l'approvisionnement de combustible nécessaire aux remorqueurs ; ils ont 27^m,43 de long ; 6^m,096 de large, 1^m,83 de creux. Ils portent de 127 à 152 mètres cubes de charbon, et tirent à pleine charge de 1^m,37 à 1^m,52 d'eau.

Les gabarres ont de 48^m,77 à 54^m,86 de long, 6^m,096 de large et 3^m,05 de creux ; elles portent de 799 à 945 mètres cubes de charbon et calent de 2^m,13 à 2^m,59, en pleine charge. Elles sont construites d'une façon très grossière, avec des bois de qualité inférieure, peuplier, pin commun. Elles servent aux transports à grande distance et sont, en général, vendues avec leur cargaison, ne faisant ainsi qu'un seul voyage. Leur prix est d'environ 2.500 francs.

Les chalands ont de 24^m,38 à 41^m,14 de long, de 6^m,09 à 7^m,92 de large et de 2^m,28 à 2^m,58 de creux. Ils portent de 436 à 508 mètres cubes et calent de 1^m,82 à 2^m,13. Ils sont construits avec beaucoup plus de soin que les gabarres, le plus souvent en pin blanc. Leur durée est, en moyenne, de dix ans ; le prix du chaland de 508 mètres cubes est de 5.000 à 6.250 francs, à Pittsburg.

Les remorqueurs sont, en général, construits en bois de chêne avec une roue motrice à l'arrière. Les plus puissants, tels que *le Joseph-B. Williams*, ont 800 tonnes de déplacement et calent 2^m,03 en pleine charge. Ils coûtent 350.000 francs, et leur dépense journalière est d'environ 750 francs.

Ces remorqueurs entraînent des trains, composés de gabarres et de chalands reliés solidement entre eux, souvent en nombre considérable.

Le plus grand de ces trains, remorqué de Louisville à la Nouvelle-Orléans par *le Joseph-B. Williams*, se composait de quarante gabarres, quatre chalands et trois bateaux plats, portant ensemble 3.881 mètres cubes. Le train, y compris le remorqueur, occupait une longueur totale de 320 mètres, et une largeur de 78^m,94. Il a parcouru la distance de 2.413^{km},500 en treize jours.

La distance de Pittsburg à la Nouvelle-Orléans, qui est de 3.185 kilomètres, est parcourue, en général, en vingt-trois à vingt-quatre jours.

Les expéditions de Pittsburg dépassent 3 millions de tonnes par an.

V. — Travaux maritimes.

American Society of Civil Engineers (décembre 1898) : C.-H. Snow. — *Animaux marins détruisant les bois.* — L'étude très complète présentée par l'auteur concerne le *Teredo navalis* (taret), la *Limnoria lignorum*, la *Sphæroma destructor*, la *Chelura terebrans*, ainsi que les *Pholos*, qui attaquent non le bois, mais la pierre.

L'action destructive du taret paraît d'autant plus grande que la température est plus élevée ; le froid, sans détruire le taret, ralentit sensiblement son travail. Certaines espèces seulement vivent dans les eaux douces. Il n'est presque pas d'essence de bois qui soit absolument à l'abri du taret. On cite parmi les essences que cet animal attaque peu : le jarrah (d'Australie), le teck, le sicupira (Brésil), le green-heart, le santa-maria (Amérique du Sud), le blue-gum (Tasmanie), le mangrove (Jamaïque).

Toutefois on a reçu, il y a peu de temps, à New-York, du teck infesté de tarets ; de même, à Southampton, certaines pièces de green-heart ont péri par le taret ; le blue-gum n'a pas davantage donné, en Californie, les effets attendus. On peut avoir plus de confiance dans certains palmiers (cocotier du Mexique, palmier royal de Cuba), dont la structure ne convient pas au taret, ainsi que dans le jarrah d'Australie.

La *Limnoria*, qui ne vit que dans l'eau de mer, attaque presque tous les bois ordinairement usités, même le teck, et également l'enveloppe de gutta-percha des câbles sous-marins.

La *Sphæroma destructor* agit, au contraire, dans des eaux relativement douces.

La *Chelura terebrans* paraît vivre très souvent associée à la *Limnoria* et produit les mêmes ravages.

En terminant son étude, l'auteur passe en revue les différents systèmes qui ont été essayés pour la protection des bois : mailletages, enduits divers et injections de créosote. Les enduits métalliques ou autres ne sont efficaces que pendant qu'ils restent intacts, ce qui est difficile à obtenir.

Parmi les enduits, on peut citer les deux procédés suivants :

le premier consiste à recouvrir les pieux d'un enduit de ciment de portland coulé en place au moyen d'un moule circulaire. Le prix de revient est de 18 à 20 francs par mètre linéaire; pendant sept ans quatre mille pieux ainsi traités n'ont donné lieu qu'à très peu de réparations. Le second procédé consiste à protéger les pieux avec une gaine de sable maintenue par une chemise en poterie; le prix de revient n'est que de 10 francs par mètre linéaire; des pieux ainsi défendus subsistent depuis vingt ans, sans avaries.

Engineering (9 décembre 1898) : *Pont tournant sur la rivière de Harlem (New-York).* — La travée tournante sur pile centrale a 121^{m},92 de longueur totale; pendant son mouvement de rotation, elle repose sur deux couronnes concentriques de galets ayant les uns 0^{m},61, et les autres 0^{m},52 de diamètre et 0^{m},27 de largeur.

Chaque couronne comporte soixante-douze galets d'acier à jante conique. La couronne extérieure a 16^{m},45 de diamètre; la couronne intérieure, 14^{m},02.

L'appareil moteur se compose de deux chaudières et de deux machines à vapeur de 50 chevaux; une seule de ces machines suffit à la manœuvre.

Engineering Record (4 février 1899): *Nouvelle forme de radoub de Boston.* — Une nouvelle forme de radoub est projetée à Boston; elle doit avoir 210 mètres de longueur sur tins, 21^{m},95 de largeur au niveau de la ligne des tins et 34^{m},75 en tête. La largeur de l'écluse sera de 30^{m},50 au niveau des hautes mers moyennes de vive eau, et le tirant d'eau de 11^{m},88 sous le même niveau.

Tout l'ouvrage doit être exécuté en béton et en maçonnerie.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers: R.-H. Garvie. — *Reconstruction des portes de Latchford.* — Les portes de l'écluse de Latchford, sur le canal de Manchester, ont subi de graves avaries, en avril 1895. Le steamer *Harold*, de 682 tonneaux de jauge brute, pénétrant dans la grande écluse à une vitesse de 7 nœuds, est venu heurter les portes intermédiaires de l'écluse, qui étaient fermées, avec une telle vitesse qu'il a passé à travers et a franchi d'un bond la différence de niveau de 4^{m},80 existant alors entre le bief supérieur et le bief

inférieur. Le courant rapide qui se forma alors dans l'écluse surprit les portes d'amont, que les éclusiers étaient en train de fermer, à la moitié de leur course; elles heurtèrent violemment contre le seuil. Le busquage se fit alors dans des conditions telles que le vantail sud se déforma et que les têtes des deux poteaux busqués se trouvèrent éloignées de $1^m,50$ l'une de l'autre, cette distance étant mesurée suivant l'axe de l'écluse. Une fois les portes d'aval fermées et le niveau d'amont rétabli dans le sas, il fut possible de dégager les deux vantaux d'amont et, malgré leurs graves avaries, de les mettre en état de continuer provisoirement leur service, ce qui évita de mettre le canal en chômage.

L'auteur donne le détail des manœuvres exécutées pour l'enlèvement des portes avariées et la mise en place des nouvelles portes, après réparation; des croquis assez nombreux accompagnent la description qui en est faite.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Engineering (20 janvier 1899) : *Chemins de fer à voies étroites pour l'Afrique du Sud.* — Dans les colonies de l'Afrique du Sud, le développement des voies ferrées est entravé par la difficulté que l'on rencontre à rémunérer le capital élevé exigé par l'établissement de voies de $1^m,06$. Un ingénieur du Cap, M. C. Bodtker, préconise, dans une brochure dont l'article est un extrait, la construction de voies de $0^m,60$, malgré l'inconvénient du transbordement au raccordement avec les lignes actuelles, transbordement, dont le prix peut être évalué à 0 fr. 30 par tonne. La voie de $0^m,60$ satisfait, sur la ligne de Darjeeling, à un trafic annuel de 30.480 tonnes, chiffre qui serait rarement atteint dans les lignes à ouvrir. M. Bodtker estime que, dans les conditions où on se trouve au Cap, on pourrait établir des chemins de fer à voie de $0^m,60$ au prix de 39.846 francs le kilomètre; la dépense se répartissant ainsi : terrassements, 4.578 francs; voie avec 1.336 traverses par kilomètre, 21.160 francs; ouvrages d'art, 7.838 francs; stations, matériel roulant et divers, 6.270 francs. Il évalue les frais d'exploitation à environ 3 fr. 42 par train kilométrique.

Engineering Record (31 décembre 1898; 7, 14 et 21 janvier 1899) : *Nouvelle station terminus sud à Boston.* — Les huit lignes, qui desservent Boston, avaient huit gares différentes; il a été décidé de les faire aboutir à deux terminus placés au nord et au sud de la ville. La nouvelle station du sud dessert quatre lignes; elle occupe une surface de 221 mètres sur 243m,80. Elle devra pouvoir desservir 2.000 trains en dix-huit heures.

Pour le moment, les installations sont faites en vue de 270 trains de grande ligne et de 440 trains de banlieue par vingt-quatre heures.

Une série d'articles, accompagnée de nombreux dessins, est consacrée à la description de cette station.

Railway Engineer (janvier 1899) : *Entrepôts du Great Northern Railway à Manchester.* — Ces nouveaux magasins, dont la description est donnée, ont 81m,38 de longueur, 66m,14 de largeur, 22m,86 de hauteur. Ils sont reliés non seulement au réseau de la Compagnie qui les a établis, mais aussi avec le canal de Bridgewater, et sont munis d'un outillage hydraulique perfectionné.

Une partie des magasins est aménagée spécialement en vue du commerce des légumes.

—— (Février 1899) : *Nouveaux sleepings et wagons-salons du London and North Western Railway.* — Description, avec dessins, des nouvelles voitures de luxe mises en service par cette Compagnie. Ces sleepings, qui ont 30 mètres de longueur totale, sont installés pour onze voyageurs. Les wagons-salons, qui ont 12m,80 de longueur sont aménagés pour quarante voyageurs.

—— (Mars 1899) : *Ventilation des tunnels et des édifices.* — M. Francis Fox, dans une étude faite sur ce sujet, estime que dans les tunnels on ne doit pas tolérer plus de 1/500 d'acide carbonique. C'est en partant de cette base et en comptant $1^{m^3},57$ de gaz délétères par kilogramme de charbon brûlé que l'on doit calculer les ventilateurs à établir. L'auteur passe en revue les différents systèmes employés pour obtenir ce résultat.

Dans une seconde partie, il insiste sur l'intérêt capital que présente la ventilation des édifices, et il évalue à $0^{m^3},566$ par minute la quantité d'air pur qui doit être fournie par tête.

Street Railway Journal (décembre 1898) : *Quelques problèmes présentés par les chemins de fer aériens, leur solution.* — Cet article

fait connaître les résultats de l'exploitation des chemins de fer électriques de Chicago et en fait la comparaison avec ceux donnés par les chemins de fer à vapeur de New-York; l'auteur estime que la Nannbattan Elevated Railway C°, qui exploite ces derniers, pourrait presque doubler ses recettes en substituant l'électricité à la vapeur comme force motrice.

—— (Décembre 1898) : *Union Elevated Cy de Chicago.* — Au centre de Chicago se trouve un chemin de fer aérien de 3.200 mètres de longueur, sur lequel passent tous les trains de trois lignes urbaines. Le trafic y atteint une intensité remarquable. En un jour il y passe plus de 1.000 trains, et aux heures les plus chargées 67 0/0 de la longueur totale de la ligne est occupée par des trains. Pendant les quatorze premiers mois d'exploitation, la ligne a transporté 80 millions de voyageurs. La station centrale d'énergie brûle du pétrole comme combustible au lieu de charbon.

—— (Janvier 1899) : *Tramways interurbains autour de Détroit.* — Un réseau de tramways dessert la banlieue de Détroit; les dix lignes, dont il se compose, ont des longueurs variant entre 32 et 64 kilomètres. Les voitures circulent en ville sur les voies des tramways urbains et dans la campagne sur des voies placées sur les accotements des routes. Les départs ont lieu toutes les demi-heures pour les voyageurs et les vitesses varient de 50 à 60 kilomètres en rase campagne.

Les lignes sont ouvertes au trafic des marchandises.

Les voitures sont de grandes dimensions et parcourent chacune environ 500 kilomètres par jour.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

American Society of Civil Engineers (janvier 1899) : J.-W. Hill. — *Justesse et durée des compteurs à eau.* — L'auteur a eu à comparer les mérites de dix-sept compteurs à eau proposés pour la distribution d'eau de la ville de Wyoning; il rend compte des expériences qu'il a faites à ce sujet.

Engineering News (15 décembre 1898) : *Travaux de construction du canal de la Compagnie de Force motrice de Saint-Laurent près de Masséna (New-York).* — Les importants travaux dont il est rendu

compte ont pour but de dériver une partie des eaux de Saint-Laurent, afin de les conduire au moyen d'un canal découvert jusqu'aux gorges de Grasse-River, en un point où peut être alors établie une chute de 12m,80. Les eaux sont ensuite ramenées à l'aval, au Saint-Laurent par le lit même de la Grasse-River. Le canal a 5.837 mètres de longueur ; sa largeur est de 57m,15 au plafond, de 80 mètres au plan d'eau ; la hauteur d'eau est de 7m,62 ; la hauteur maxima de la tranchée est de 28m,05. Les déblais sont exécutés au moyen d'excavateurs jusqu'à 1m,52 en contre-bas du plan d'eau, au-dessous ils sont effectués à la drague.

Scientific American (17 décembre 1898) : *Le grand mur de réservoir californien.* — Le mur de réservoir de Crystal-Springs doit avoir 53m,33 de hauteur maximum. La largeur à la base est de 53m,63. Actuellement on a atteint la hauteur de 44m,19. L'ouvrage est fondé sur le rocher ; il est entièrement composé de blocs de béton de 12m,19 de longueur, 9m,14 de largeur et 2m,44 de hauteur. Chacun de ces blocs est exécuté sur place en une journée. Les différents blocs ont des formes variées et sont assemblés entre eux suivant un appareil en queue d'hironde. Les bétonnières utilisées permettent de fabriquer 283m,150 de béton par jour.

H. D.

IX. — Électricité appliquée.

Electrical World (17 et 24 décembre 1898) : Steinmetz. — *Les convertisseurs.* — Très longue étude théorique des convertisseurs de courant alternatif en courant continu, résumé dans *l'Industrie électrique* (Voy. *Périodiques français*, p. 341).

—— (31 décembre 1898) : *Les tramways à conduite souterraine de la Capital Traction Company.* — Longue description illustrée de l'usine et des voies du réseau de tramways à conduite souterraine de Washington, installé depuis l'incendie de la station génératrice en 1897.

Cet article contient quelques coupes du caniveau et la description complète de l'usine, remarquable par les facilités d'alimentation des chaudières en eau et en charbon. Actuellement quatre batteries de chaudières Cahall, formées chacune de deux

éléments de 350 chevaux sont en service. Comme moteurs à vapeur, l'usine comprend cinq Corliss-Allis compound tandem de 800 chevaux, directement accouplées à des dynamos à 600 volts. En outre, trois survolteurs d'une capacité de 550 ampères et 180 volts servent à maintenir le potentiel constant sur les feeders.

Le tableau de distribution comprend, outre les panneaux de feeders, cinq panneaux pour les génératrices, un panneau pour les compteurs et appareils totalisant le débit de l'ensemble. Les travaux ont été effectués sous les ordres et les plans de M. Carll; le matériel électrique, fixe et roulant, est celui de la General Electric C°.

—— (7 janvier 1899) : J.-S. Peck. — *Le nouveau transformateur de la Carborundum Company.* — La Carborundum Company (procédé Acheson) possède maintenant deux transformateurs spéciaux de 830 kilowatts et deux régulateurs de 600 kilowatts fournissant les premiers un courant de 7.545 ampères sous 110 volts, et les seconds le même courant sous 75 volts. L'auteur donne quelques détails sur la méthode de régulation employée, imaginée par M.-N. Rowe et qui consiste à partager le primaire en un certain nombre de sections disposées en série; on fait varier la tension d'une façon continue entre celles qui correspondent aux deux extrémités de la section à l'aide d'un régulateur d'induction, c'est-à-dire un transformateur à coefficient d'induction mutuelle variable.

—— (14 janvier 1899) : *L'installation de la Niagara Falls Hydraulic Power and Manufacturing Company.* — Cette ancienne installation de transport mécanique de la force motrice que des perfectionnements successifs ont amenée à employer l'électricité comme agent de transmission comprend actuellement quatre turbines Leffel de 2.000 chevaux, attelées chacune à deux dynamos de 560 kilowatts. Deux de celles-ci, à 500 volts, sont utilisées par le Lewiston and Youngstown Electric Railroad; les autres sont des machines à 500 volts dont le courant est consommé par la Pittsburg Production Company pour la fabrication de l'aluminium.

—— (7, 14, 21, 28 janvier 1899): J.-E. Woodbridge. — *L'installation des chutes du Niagara.* — Longue description détaillée et

mise à jour avec illustrations. La seule chose réellement nouvelle à signaler, en ce qui concerne la station génératrice, est l'emploi, pour les quatre dernières turbines installées, d'un nouveau régulateur, un peu différent des régulateurs Faesch et Piccard, employés pour les quatre premières. Le train différentiel conduit par courroies et les freins ont été abandonnés. Le déplacement des boules du régulateur à partir de la position normale met en jeu l'une ou l'autre des deux séries de balais, qui viennent en contact avec un cylindre, tournant constamment dans un bain d'huile, et mettant en service des embrayages électro-magnétiques, qui conduisent un même pignon dans un sens ou dans l'autre. En cas de suppression brusque de la charge, la vitesse n'augmente que d'environ 10 0/0 avec ces nouveaux régulateurs, tandis que l'augmentation était de plus du double avec les anciens.

Les dynamos ont subi également quelques modifications de détails, se rapportant uniquement à la ventilation des enroulements.

La charge totale maxima de l'usine génératrice est de 15.000 kilowatts environ; la charge de jour, presque uniquement utilisée dans le voisinage de l'usine, varie entre 11.500 et 11.700 kilowatts; celle de la station réceptrice de Buffalo est beaucoup plus variable ; elle passe de 500 kilowatts à 3.140. Le facteur de puissance pour la charge moyenne atteint 0,95.

—— (21 janvier 1899): *La transmission d'énergie électrique des chutes du Niagara à Buffalo.* — La ville de Buffalo, qui se trouve à environ 40 kilomètres des chutes du Niagara, utilise, comme on le sait, une partie de l'énergie électrique de la station centrale des chutes. Actuellement Buffalo comprend trois sous-stations alimentées par cette usine. La première, de la Buffalo Railway C°, comporte six transformateurs de 275 kilowatts ramenant les tensions de 22.000 ou 11.000 volts à 360 volts pour l'alimentation des convertisseurs tournant à 500 volts aux bornes du circuit à courant continu; trois autres transformateurs de 250 kilowatts abaissent la tension à 2.200 wolts et servent à la distribution d'éclairage.

La seconde comprend quatre transformateurs de 850 kilowatts, dont trois sur les trois fils de la ligne à courants triphasés, le quatrième servant de réserve; six survolteurs de 75 kilowatts, groupés deux à deux, sont employés pour élever la

tension sur chacun des trois circuits de la distribution, par un dispositif spécial.

La troisième station, installée à côté de celle de la Buffalo General Electric Company, qu'elle doit alimenter exclusivement, se compose actuellement de douze transformateurs de 250 kilowatts, ramenant la tension à 352 volts pour la distribution, et de quatre autres transformateurs de même puissance, mais abaissant la tension à 1.100 volts seulement.

—— (28 janvier 1899) : *Transformation de la station centrale de la Buffalo General Electric Company.* — L'ancienne station centrale de Buffalo doit être complètement transformée et alimentée uniquement par la station génératrice des chutes du Niagara; l'installation nouvelle est prévue pour 10.000 chevaux, dont 5.400 sont actuellement utilisables, et lui sont fournis par la sous-station dont on vient de parler.

L'éclairage à arcs est actuellement assuré par six moteurs synchrones à courants triphasés de 200 chevaux, conduisant directement chacun deux dynamos de 125 foyers ; il comprendra dans l'avenir quinze groupes identiques aux précédents.

Une partie de l'énergie électrique est transformée en courant continu à 550 volts par deux convertisseurs de 200 kilowatts; deux autres, de 400 kilowatts chacun, seront installés dans l'avenir. En dehors de ces appareils à 550 volts, l'usine comprend également deux convertisseurs de 100 kilowatts à 125 volts et 25 périodes seulement, qui alimentent un réseau à trois fils équilibré et réglé par une batterie d'accumulateurs; ces machines empruntent l'énergie électrique à trois transformateurs de 75 kilowatts, abaissant la tension de 350 volts à 80 volts.

La distribution par courants alternatifs se faisant à la fréquence 62,5 périodes, la fréquence d'une partie des courants triphasés est transformée à l'aide de moteurs-générateurs composés d'un moteur synchrone de 425 kilowatts sous 2.200 volts.

Le matériel générateur est complété par deux petites excitatrices de 20 kilowatts sur 125 volts, accouplées directement à des moteurs asynchrones.

—— (4 février 1899) : J. Appleton. — *Récents progrès dans l'emploi des batteries d'accumulateurs.* — L'auteur fait l'historique du développement des batteries d'accumulateurs en Amérique,

développement qui ne date guère que de 1894. Il donne quelques courbes de charge et de décharge des batteries les plus importantes installées dans ce pays, celles du Buffalo Street Railway et de la Chicago-Edison Company. A signaler également une courbe de la variation de la capacité avec le taux de décharge.

M. Appleton donne quelques indications sur le matériel électrique convertisseur et survolteur, employés concurremment avec les batteries pour le service de la traction du Buffalo Street Railway.

—— (18 février 1899) : W.-M. Stine. — *Sur les erreurs dues au phénomène d'hystérésis dans les appareils de mesure électriques ayant des armatures en fer.* — Intéressant travail sur l'étalonnement des appareils de mesure à noyau en fer; les appareils étudiés sont des voltmètres Weston de différents types. Les résultats obtenus avec quelques-uns sont très intéressants et montrent la supériorité de ces appareils, du reste universellement appréciés.

—— (11 février 1899) : *Les tramways souterrains de Boston.* — Longue étude, avec nombreuses photographies, de l'installation des tramways souterrains de Boston dont nous avons rendu compte antérieurement en ce qui concerne le matériel générateur et l'équipement électrique des voitures. Cette étude comprend quelques détails sur les travaux effectués, la constitution des voies, le drainage et la ventilation. L'équipement des eaux en particulier est intéressant: l'eau se réunit dans des réservoirs et soulève, lorsqu'elle arrive à une certaine hauteur, un flotteur qui commande par une chaîne la manette du rhéostat d'un moteur couplé directement avec une pompe centrifuge verticale noyée. Au cas où le moteur ne démarrerait pas, le flotteur, en s'élevant un peu plus, mettrait en route un second moteur; enfin, si le second moteur ne démarrait pas non plus, l'eau continuant à monter, le flotteur mettrait en marche une sonnerie d'alarme. Ces moteurs-pompes sont alimentés par les circuits de la Boston Elevated Railway Company ou de la Boston Electric Ligth Company; ils ont une puissance de 5 chevaux environ, et la pompe peut débiter 1.200 litres à la minute.

La ventilation du souterrain est assurée par trois stations comprenant chacune deux ventilateurs de 300 mètres cubes par minute, couplés directement à des moteurs à 500 volts.

The Electrician (16 décembre 1898, 6 et 13 janvier 1899) : SEMENZA. — *Installation hydroélectrique de Paderno (Italie).* — Description étendue et intéressante de cette remarquable installation, qui permet de transmettre à 32 kilomètres une puissance de 13.000 chevaux. La chute nette disponible, qui est de 17.000 chevaux, actionne 6 turbines doubles à axe horizontal de Riva-Monneret, de 2.160 chevaux chacune, avec une septième comme réserve. Ces turbines sont du type centrifuge à réaction, avec un tuyau d'aspiration de 6 mètres. Le réglage est fait par servo-moteur avec une précision de 2 0/0 en marche normale, 4 0/0 quand la charge varie de 25 0/0. L'égalisation des charges se fait depuis le tableau de distribution par le système Siemens à servo-moteur électrique.

Le courant est produit directement à 13.500 volts à 42 périodes par des alternateurs triphasés, accouplés directement et tournant à 182 tours par période. Les alternateurs sont du type Brown à inducteur multipolaire tournant.

La ligne comprend plusieurs systèmes de trois conducteurs formant 18 fils petit diamètre pour réduire les chutes en ligne. La station de réception à Milan transforme le courant à 3.600 volts. De là rayonne un réseau qui alimente des transformateurs à 150 volts pour l'éclairage des convertisseurs pour la traction et pour l'éclairage de l'ancien réseau Edison à 150 volts. Le tableau de distribution est particulièrement remarquable ; les interrupteurs à haute tension fonctionnent dans l'huile; les fusibles sont tendus dans des tubes en porcelaine ouverts ; l'arc qui se forme au moment de la rupture produit une sorte d'explosion qui l'éteint lui-même. Sur le tableau, le courant de chaque alternateur traverse un wattmètre; des voltmètres électrostatiques indiquent par des fils-pilotes la tension au lieu d'arrivée.

La ligne est formée de pylônes métalliques à treillis, divisés en deux séries parallèles, portant chacune neuf conducteurs sur des isolateurs à cloches multiples. Les calculs avaient été faits en tenant compte de l'induction par Ferraris.

Les lignes sont munies de parafoudres des types Wurst et Siemens, en vue d'un essai comparatif. L'installation est en service depuis le mois d'octobre dernier, et les résultats sont satisfaisants.

—— (13 janvier 1899) : *Transmission d'énergie de Hamilton (Canada).* — Cette transmission intéressante par sa haute tension (20.000 volts) utilise la chute d'un canal (Welland-Canal), qui

traverse l'isthme séparant le lac Erie du lac Ontario. La station génératrice est à 56 kilomètres de Hamilton, point d'utilisation. Cette installation a été décrite ailleurs d'après un article de *The Electrical World.* Ce qu'il y a de particulier, c'est qu'elle est à deux phases et non à trois phases, comme les transmissions à grandes distances ordinaires.

— (27 janvier 1899) : *Chemin de fer électrique de Standstadt à Engelberg.* — Longue description illustrée de cette ligne alimentée directement en courant triphasé d'après le système Brown-Boveri.

Le matériel roulant comprend cinq voitures automobiles et deux locomotives. Un caractère intéressant de la ligne c'est qu'elle a, sur une partie de son parcours, une pente de 25 0/0 sur laquelle la traction est faite par crémaillère au moyen des locomotives. Sur le reste du parcours, les voitures automobiles circulent par simple adhérence en remorquant une voiture d'attelage. La vitesse est alors constante et de 20 kilomètres à l'heure sans aucune intervention du mécanicien. L'usine génératrice, située au pied de la rampe, contient deux génératrices triphasées de 200 chevaux chacune mues par turbines et excitées séparément. La fréquence est de 35, et le voltage 750 ; pour l'alimentation de la partie la plus éloignée, il existe un feeder à 5.000 volts avec double transformation aux extrémités.

Les locomotives ont un poids de 16 tonnes et demie ; elles sont à deux essieux et munies de deux moteurs de 75 chevaux chacun, qui peuvent actionner à volonté les essieux à une vitesse de 13 kilomètres à l'heure, ou la roue dentée à vitesse plus lente ; elles consomment avec leur train, sur la rampe, 95 à 100 ampères.

La récupération à la descente atteint 60 à 65 ampères et, comme ce chiffre dépasse la puissance requise sur la ligne, le surplus de l'énergie doit être absorbé à la station génératrice par un rhéostat plongé dans l'eau. Le contact est fait par un double archet séparé en deux parties par une pièce de bois paraffiné, ce qui supprime les difficultés de construction au croisement des lignes aériennes.

Un disjoncteur automatique ingénieux coupe le circuit automatiquement, si l'un des fils à 5.000 volts vient à être brisé par accident.

—— (10 et 17 février 1899) : LANGDON. — *L'intercommunication électrique des trains de chemin de fer.* — Reproduction d'une communication détaillée présentée, le 15 décembre 1898, à la Société des Électriciens anglais et dans laquelle l'auteur passe en revue les divers procédés d'intercommunication utilisés par les Compagnies anglaises.

—— (17 et 25 février 1899) : MILES-WALKER. — *Système de traction par contact superficiel.* — L'auteur, après avoir passé rapidement en revue quelques-uns des systèmes proposés dans le cours des dernières années pour la traction par distribution superficielle, décrit avec détail le système qu'il a imaginé en collaboration avec M. S.-P. Thompson.

Celui-ci est une sorte de combinaison du système Diatto avec le système Westinghouse. Un plongeur en fer, qui peut venir en contact avec le plot métallique, est soumis à l'action d'un solénoïde parcouru par un courant en même temps qu'à l'attraction d'un électro-aimant placé sous la voiture. Le contact s'établit et se rompt dans du mercure, et tout l'appareil est noyé dans l'huile dans un vase de fonte placé sous le plot.

—— (24 février 1899) : *Locomotive électrique d'entrepreneur pour le Métropolitain Waterloo-Baker-Street.* — Courte description bien illustrée d'une petite locomotive industrielle de 25 chevaux, construite par Thomas Parker. Elle rentre dans les types anciens, à un seul moteur bipolaire, attaquant les deux essieux par un train d'engrenages. Une autre locomotive semblable, mais un peu plus puissante, a été construite pour l'Afrique du Sud.

A. B.

XII. — DIVERS.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (1898, t. IV) : H. FOUTER. — *Carbure de calcium et acétylène.* — Étude générale des propriétés du carbure de calcium et de l'acétylène, des appareils servant à la production de ce gaz et de son emploi pour l'éclairage.

H. D.

PÉRIODIQUES ESPAGNOLS.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Revista de Obras publicas (17 novembre 1898) : D. Bercedoniz. — *Routes économiques.* — Le réseau des routes d'intérêt général étant sur le point d'être achevé, il y a lieu de s'occuper des routes locales, d'intérêt secondaire, dont le nombre augmente sans cesse et parmi lesquelles la majeure partie, sinon la totalité, des routes provinciales et un grand nombre de chemins vicinaux sont mis par le Parlement à la charge de l'État. Il importe de les construire le plus économiquement possible, ce qui conduira à observer les règles suivantes.

Tracé. — Fixer la limite des déclivités à 10 et même 12 0/0. Employer les lacets comme solution courante pour franchir les faîtes. Réduire à 10 mètres le rayon minimum des courbes. Réduire à 5 et même à 4 mètres la largeur de la route dans les passages difficiles et coûteux.

Ouvrages d'art. — Supprimer les couronnements des murs. — Employer constamment des maçonneries économiques, notamment celles faites avec des galets, qui, exécutées avec soin, présentent un très bon aspect. — Ne faire usage de pierres de taille soigneusement ouvrées et de grandes dimensions que le moins possible, dans les ponts et autres ouvrages importants. La pierre de taille grossièrement apprêtée peut composer des ouvrages solides et artistiques. Réduire la largeur de tous les aqueducs et ponceaux à 2m,50 et passer graduellement, sur une longueur de 10 mètres, de cette largeur réduite à la largeur normale de la route. Réduire à une voie de 2 mètres et à deux trottoirs de 0m,65 la largeur des ponts, des grands ouvrages et des groupes de petits ouvrages. Utiliser tous les ouvrages anciens autant que possible.

Ouvrages accessoires. — Supprimer complètement les baraques des cantonniers, sauf dans les traversées de régions désertes ou peu peuplées.

— (24 novembre 1898) : J.-M. de Zafra. — *Rupture d'une pile tubulaire de la passerelle sur le Guadalquivir à Séville.* — La pas-

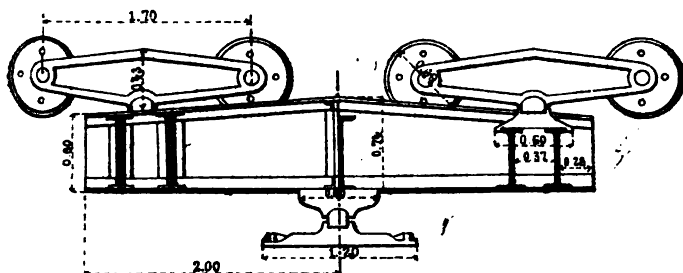
serelle sur le Guadalquivir à Séville, établie pour le passage des piétons et pour celui d'une conduite d'eau, se compose de trois travées métalliques de $70^m,21$, appuyées sur quatre piles, qui sont constituées chacune par deux tubes métalliques de $1^m,50$ de diamètre, formées d'anneaux en fonte de $1^m,50$ de hauteur et de $0^m,25$ d'épaisseur. Ces tubes sont liés l'un à l'autre par des croix de Saint-André. On achevait, au mois de janvier 1897, le remplissage en béton de la partie inférieure de la pile n° 3, lorsque survint une grande crue du Guadalquivir (8 mètres au-dessus du niveau de la basse mer), qui recouvrit entièrement les parties exécutées de cette pile. Quand les eaux baissèrent, on s'aperçut que celle-ci avait disparu, et l'on reconnut que les colonnes avaient été coupées à un niveau un peu inférieur à celui du fond de la rivière. Les parties basses enfoncées dans le sol étaient restées exactement verticales. La partie coupée de la colonne d'amont gisait en deux morceaux ; celle coupée de la colonne d'aval en un seul morceau.

La rupture ne peut avoir été produite que par un effort horizontal, qui ne saurait être l'action d'un courant de $2^m,50$ à la seconde, tel qu'il s'en produit lors des plus fortes crues du fleuve. La résistance transversale de la pile est beaucoup trop considérable pour qu'un pareil courant ait pu la détruire. Il faut admettre l'action d'un choc produit par un corps flottant. Or on a trouvé, à 13 mètres de la pile, une barque chargée de pierres complètement démolie. La colonne d'amont ayant été rompue en deux tronçons, le choc se sera produit à la tranche de rupture supérieure, à $4^m,50$ au-dessus de celle placée au point d'encastrement. Et précisément le calcul montre qu'il suffisait d'une masse de 5 tonnes et demie, venant frapper la colonne en cette tranche supérieure avec une vitesse de 2 mètres à la seconde, pour déterminer la rupture.

—— (23 février 1899) : *Le viaduc du Salado (sur la ligne de Linares à Almeria)*. — Cet ouvrage se compose d'une poutre droite en treillis à grandes mailles de 10 mètres de hauteur, divisée en trois travées de 105 mètres par deux piles en maçonnerie hautes de 78 mètres. Ces piles mesurent au sommet 9 mètres de largeur sur 4 d'épaisseur. Les parements sont inclinés avec un talus longitudinal de $0^m,028$ et un talus transversal de $0^m,070$. Il y a, en outre, deux ressauts à 12 et à 24 mètres du sol. La section inférieure mesure $21^m,63$ sur $9^m,50$.

Le mortier employé dans le béton de fondation et dans les maçonneries est formé de 300 kilogrammes de chaux du Theil pour 1 mètre cube de sable.

Pour économiser sur les échafaudages, on a ménagé au centre de chaque pile un puits ou cheminée, mesurant 2m,20 sur 1m,45, qui s'ouvre au dehors, au pied de la pile, par une galerie de 2m,50 d'ouverture et 3 mètres de hauteur.



Le système d'appui des poutres, représenté par la figure ci-contre, consiste, pour chaque poutre, en huit roues de 0m,60 de diamètre portées par quatre balanciers de 1m,70, appuyés par des rotules sur un grand balancier de 4 mètres de longueur, reposant, par l'intermédiaire d'une rotule, sur deux coussinets d'appuis scellés sur le couronnement de la pile.

V. — Travaux maritimes.

Revista de Obras publicas (29 décembre 1899) : E. Ribera. — *Construction à l'air comprimé de la digue Nord du port de Musel.* — Cette digue, longue de 1.050 mètres, atteint des profondeurs de plus de 15 mètres au-dessous des basses mers d'équinoxe. Elle se compose de deux murs parallèles écartés de 40 mètres l'un de l'autre, de dehors en dehors, et reliés ensemble par des murs de refend espacés de 40 mètres. La fondation s'exécute en béton au moyen de deux cloches ou caissons de dimensions inégales, affectées chacune à l'un des murs longitudinaux. La plus grande, celle du mur extérieur, mesure 15 mètres de largeur sur 4 mètres de hauteur; sa longueur est de 8m,50 aux deux extrémités et de 6 mètres dans la partie moyenne (sur 7 mètres de longueur). Elle cube 440 mètres cubes et possède cinq cheminées, dont quatre de 0m,60 de diamètre pour la des-

cente des matériaux et une de $0^m,80$ de diamètre, pour le mouvement des hommes. La paroi postérieure du caisson est de 1 mètre plus courte que les autres parois. Le caisson dès lors peut se déplacer suivant la longueur de la digue, à condition que le béton soit arasé au niveau du bord inférieur de cette paroi postérieure. Le mouvement de translation s'obtient en suspendant le caisson sur quatre vérins hydrauliques placés dans la chambre de travail, et en le poussant au moyen de deux autres vérins hydrauliques disposés horizontalement. On fait ainsi avancer le caisson au fur et à mesure du progrès de la fondation en béton, qui s'exécute dans la chambre de travail. Le béton se pose en sacs au-dessous du caisson.

Les murs s'exécutent au-dessus de la fondation au moyen de blocs artificiels en maçonnerie, mesurant au moins 24 mètres cubes, que l'on met en place avec un Titan de grandeur colossale, dont les deux chariots de roulement portent sur les parties déjà construites de ces murs.

L'avancement de la digue est d'environ $1^m,20$ par jour.

Ce nouveau système de construction donne de très bons résultats.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Revista de Obras publicas (10 novembre 1898) : *Construction d'un troisième réservoir pour les eaux, à Madrid.* — La consommation d'eau journalière est à Madrid de 130.000 mètres cubes pour 500.000 habitants, soit 260 litres par habitant. Elle a très rapidement augmenté, en sorte que les deux réservoirs de 241.000 mètres cubes de capacité totale, où se rendent les eaux du Lozoya, se trouvent insuffisants. Un nouveau réservoir de 443.000 mètres cubes, est projeté, avec doubles voûtes pour empêcher l'échauffement de l'eau. Ces voûtes sont des berceaux, en arc de cercle, de $4^m,03$ de diamètre et $0^m,60$ de flèche, appuyés sur des fers en double **T**, que soutiennent des piliers carrés de $0^m,70$ de côté, espacés de $6^m,02$ d'axe en axe dans le sens de la longueur du berceau. La voûte inférieure, formée d'un rang de briques à plat de $0^m,04$ d'épaisseur, mesure avec son double enduit $0^m,05$ d'épaisseur. La voûte supérieure, formée d'un double rang de briques à plat, mesure $0^m,11$ d'épaisseur. L'intervalle des deux voûtes est de $1^m,37$. La

hauteur maximum de l'eau est de 6^{m},75. La dépense est évaluée à 6.120.700 pesetas, soit 12,98 pesetas par mètre cube.

F. D.

PÉRIODIQUES ITALIENS.

IV. — Navigation intérieure.

Giornale del Genio civile (juin-juillet 1898) : *Travaux d'amélioration et de défense exécutés sur les cours d'eau de l'Italie de* 1891 *à* 1897 (extrait des informations monographiques publiées par le Ministère des Travaux publics). — L'article passe en revue les travaux opérés sur plus de trente cours d'eau, fleuves, rivières ou torrents. Les principaux ouvrages exécutés sont les suivants :

Piave. — Construction et réparation de digues (2.317.000 francs).

Brenta. — Il est sommairement rendu compte des grands travaux exécutés sur ce fleuve. En 1840, la Brenta, qui depuis trois siècles débouchait dans la mer, fut rejetée dans la lagune de Chioggia, afin de diminuer les dommages causés par les inondations de cette rivière. Il en résulta de graves inconvénients pour la lagune, le port et la ville de Chioggia, si bien qu'on a de nouveau fait déboucher la Brenta dans la mer (13 mars 1896), en lui creusant une nouvelle embouchure. La dépense s'est élevée à 8.310.000 francs.

Guà. — D'importants travaux de défense, montant à 710.000 francs, ont été exécutés sur ce torrent.

Gorzone. — Importants travaux de régularisation et de construction de digues montant à 1.124.000 francs.

Adige. — Travaux très considérables, exécutés dans la traversée de Vérone (endiguements et élargissements du lit) et de Vérone à la mer (dépense, 12.455.000 francs.)

Pô. — Les crues de la fin d'octobre 1896 et de janvier 1897 ont endommagé gravement les digues. Il y eut une rupture de digue dans la circonscription de Pavie. Les dépenses de consolidation et d'amélioration se sont élevées à 10.400.000 francs pour la période septennale considérée

Oglio. — Travaux d'endiguement dans la province de Crémone et surtout dans celle de Mantoue (882.000 francs).

Secchia. — Travaux d'exhaussement des digues sur plus de 22 kilomètres (1.722.000 francs).

Panaro. — Restauration et consolidation des digues (1.113.000 francs).

Reno. — La crue extraordinaire des 21 et 22 août 1896 détermina une rupture de digue considérable sur la rive gauche. La réparation a coûté 649.000 francs. Travaux de correction des digues (3.894.000 francs).

Tibre. — Il a été rendu compte dans les *Annales* (1897, 3e trimestre), par M. Betocchi, des grands travaux de régularisation du Tibre dans la traversée de Rome. Travaux terminés ou en cours d'exécution au 1er janvier 1897 : 71.000.000 francs (dépensés à partir de 1877). Reste à dépenser : 19.000.000 francs. Dépense totale : 90.000.000 francs. Le chiffre des dépenses prévues et approuvées s'élève à 105.000.000 francs.

V. — Travaux maritimes.

Giornale del Genio civile (juin-juillet 1898) : E. Borgatti et P. Lanino. — *Nouveaux types d'appareils de déchargement dans les ports.* — Les auteurs, après avoir fait ressortir l'utilité des stations centrales d'électricité, pour la production, dans les ports de mer, de la force motrice et de la lumière et avoir examiné les conditions de distribution de l'électricité, décrivent sommairement les stations centrales électriques de quelques ports fluviaux ou maritimes (Mannheim, Dusseldorf, Rotterdam, Copenhague, Dresde.

Ils passent ensuite à l'examen des appareils de déchargement: grues hydrauliques, grues électriques (sur lesquelles l'article s'étend longuement) ; organeux et chariots transbordeurs; appareils spéciaux, tel, que: élévateurs de grains, toiles sans fin pour le transport horizontal des grains, monte-charges de toute espèce, transporteurs Temperley. De nombreux dessins représentent ces différents appareils. Venant à la question économique, les auteurs estiment que, ni pour les dépenses d'établissement, ni pour celles d'entretien, on ne peut encore affirmer qu'une installation électrique soit moins coûteuse qu'une installation hydrodynamique.

Leur conclusion est que les installations hydrodynamiques

paraissent être parvenues à leur plus haut degré de perfection (elles fonctionnent parfaitement et n'ont fait récemment aucun notable progrès), mais que leur condition est stationnaire, tandis que les installations électriques prennent faveur et se répandent de plus en plus. Elles s'adaptent avec plus de souplesse aux multiples besoins de force motrice qui existent dans un port et dans une ville.

— (Août 1898) : *Ouvrages exécutés dans les ports italiens de* 1891 *à* 1897 (extrait des informations monographiques publiées par le Ministère des Travaux publics). — L'article donne des renseignements sur plus de cinquante ports. Les principaux ouvrages exécutés sont les suivants :

Venise. — Amélioration du port du Lido par la construction de la digue du sud-ouest et le prolongement de la digue du nord-est. Sous l'action des courants, le chenal s'est creusé, à 8 mètres de profondeur, sur 200 mètres de largeur (dépense, 3.344.000 francs). Approfondissement du canal de Malamocco jusqu'à l'arsenal de Venise. La profondeur a été portée à 10 mètres, et le chenal a été élargi de manière à rendre possible le passage des plus grands navires de guerre. Le canal de Saint-Marc et la Giudecca ont été approfondis à 8 mètres. Ces travaux ont coûté 3.942.000 francs.

Ancône. — Construction d'un môle de 126 mètres de saillie et de 45 mètres de largeur moyenne pour l'accostage des plus gros bateaux à vapeur marchands, et pour le dépôt temporaire des marchandises (dépense, 485.000 francs).

Bari. — Construction de terre-pleins de 8 hectares et d'un épi en blocs naturels de 265 mètres de longueur pour prévenir l'ensablement du port et donner abri aux petits bateaux et aux barques de pêche. La dépense faite jusqu'en 1897 monte à 360.000 francs.

Brindisi. — Travaux d'approfondissement et de dérochement et travaux divers d'amélioration (dépense, 596.000 francs).

Cotrone. — La construction du môle du nouveau port a coûté 3.320.000 francs. En novembre 1896, une tempête a gravement endommagé le môle (dépense pour la réparation, 80.000 francs).

Reggio en Calabre. — L'agrandissement du port, portant la surface du bassin à 10,5 hectares, et l'approfondissement de ce bassin à 8 mètres, ont coûté 2.700.000 francs.

Naples. — Les travaux terminés sont les suivants : Prolongement sur 190 mètres du môle Saint-Vincent. — Achèvement du

môle courbe. — Achèvement de l'approfondissement à 8m,50 des bassins intérieurs. — Construction de hangars, travaux divers. Sont en cours d'exécution : un édifice monumental à deux étages pour l'embarquement et le débarquement des passagers et notamment des émigrants, très nombreux à Naples (540.000 francs) ; — une digue de ceinture, à l'est du môle oriental, pour enfermer des bassins de radoub (500.000 francs ; — l'accroissement des voies ferrées du port, etc. D'autres travaux seront incessamment entrepris, notamment : les bassins de radoub abrités par la digue en construction (4.000.000 francs ; — le prolongement sur 250 mètres du môle Saint-Vincent (4.678.000 francs) ; — l'installation de quatre grues électriques (180.000 francs), etc.

Civita Vecchia. — Le prolongement du môle sur 400 mètres, dans la direction du nord-ouest, a coûté 6.932.000 francs, dont 4.362.000 francs dépensés de 1891 à 1897, y compris 285.000 francs employés à réparer les dommages causés par les tempêtes des 6 et 25 janvier 1895.

Gênes. — Achèvement, en 1893, des deux grands bassins de radoub de 200 et de 160 mètres de longueur et de la darse qui les précède, adjugés en janvier 1888. — Achèvement du vaste quai du môle neuf, ainsi que des installations pour la manœuvre des grues hydrauliques. — Établissement de nouvelles grues hydrauliques. — Approfondissement à 9 mètres de diverses parties du port, etc.

Savone. — Accroissement de 290 mètres donné aux quais.

Portotorres. — Achèvement du môle oriental et de la banquette d'accostage du vieux môle (913.000 francs). Approfondissements et dérochements (529.000 francs).

Palerme. — Travaux de dérochements ayant approfondi de 3m,50 à 7 mètres une surface de 2,4 hectares (1.765.000 francs).

Les travaux en cours consistent en quais (950.000 francs et en un bassin de radoub de 175m,14 de longueur (3.000.000 francs).

Messine. — Creusement à 8m,50 ou à 6 mètres de profondeur de certaines parties du port. — On construit de nouveaux terre-pleins derrière des murs, en blocs artificiels, de 385 mètres de longueur (640.000 francs).

Catane. — Approfondissement à 8 mètres d'une partie du vieux port. Construction d'une cale pour les barques de pêche. — Renforcement extérieur du môle du port neuf au moyen de gros blocs artificiels.

Phares. — Plusieurs phares, dont un de 2e ordre (Pointe de

Mestre); trois de 3° ordre (Castel di Mezzo, Capo Pedaso, Capo-Stilo) et quelques-uns de moindre importance, ont été allumés de 1891 à 1897.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Giornale del Genio civile (mai 1898) : G. Bruno. — *La canalisation sanitaire de la ville de Naples.* — L'assainissement souterrain de Naples laissait fort à désirer, il y a une vingtaine d'années. Les égouts, très défectueux dans leur aménagement, mesurant 150 kilomètres de développement, répartis entre les deux bassins naturels de l'Est et de l'Ouest, sur lesquels s'étend la ville, débouchaient en deux points sur le rivage, qu'ils infectaient de la manière la plus fâcheuse pour la santé publique.

Le programme de la nouvelle canalisation devait satisfaire aux conditions suivantes :

1° Débarrasser le rivage de tous les écoulements de liquides contenant des matières putrescibles;

2° Empêcher les infiltrations et les infections dans le sous-sol;

3° Éviter que les conditions sanitaires des parties plates et basses de la ville ne soient empirées par les afflux supérieurs;

4° Assainir le sous-sol dans les zones infectées;

5° Étendre la canalisation aux quartiers et aux rues dépourvues d'égouts, de manière à supprimer successivement les puisards.

Pour satisfaire à ces conditions, on adopta le système du tout à l'égout, appliqué tout ensemble aux eaux météoriques et aux eaux résiduaires, sauf dans les zones basses et moyennes, où l'on usa de deux canalisations, l'une pour les eaux météoriques, l'autre pour les eaux résiduaires.

Le territoire fut divisé en trois zones, haute, moyenne et basse, desservies par des collecteurs, émissaires, conduits de décharge et par des égouts de divers ordres établis dans toutes les rues. Les émissaires extérieurs sont au nombre de deux, débouchant, le principal à Cumes, le subsidiaire (servant de décharge), à Coroglio. L'émissaire de Cumes, mesurant environ 60 kilomètres de longueur, débouche très loin de Naples sur une plage inhabitée. L'émissaire de Coroglio débouche plus près de la ville, à l'extrémité du promontoire de Pausilippe. Le collecteur supérieur verse ses eaux directement dans

l'émissaire de Cumes. Les eaux du collecteur moyen sont élevées mécaniquement de 8 mètres pour être déversées dans le même émissaire. Celles des deux collecteurs inférieurs sont élevées dans le collecteur moyen.

Il existe, en outre, deux collecteurs des eaux des collines, versant leurs eaux l'un à l'est, l'autre à l'ouest.

Deux planches donnent : le plan de la ville, les profils en long des émissaires et des principaux collecteurs et les coupes en travers de ces canaux, ainsi que des égouts.

Les travaux sont à moitié exécutés.

XII. — Divers.

Il Politecnico (novembre, décembre 1898) : C. Saldini. — *L'enseignement de la technologie mécanique dans les écoles d'ingénieurs.* — La technologie peut se définir brièvement : l'ensemble des procédés et des moyens servant à transformer une matière déterminée en un produit industriel. Son domaine s'arrête à l'œuvre d'art, aux créations d'un caractère personnel. Elle comprend deux branches principales : la technologie mécanique, dans les opérations de laquelle domine le travail de la machine, et la technologie chimique, dans les opérations de laquelle prévalent les actions chimiques (fabrication de l'acide sulfurique, des savons, de la bière, du sucre, du glucose, de la fécule, des couleurs, etc.). On range dans la technologie mécanique : l'industrie du papier, les industries graphiques, la filature, le tissage, le blanchiment, l'apprêt, l'impression. Telle est la classification adoptée dans toutes les Écoles polytechniques de l'Europe et des États-Unis. En ce qui concerne la technologie mécanique, on étudie dans les premiers semestres la technologie des métaux et du bois et, dans les semestres suivants, les technologies spéciales des fibres textiles, du papier et de la mouture. On y ajoute, en quelques écoles, la technologie de la préparation des pierres et des briques.

M. le Professeur Fischer, du Polytechnicum de Hanovre, a introduit une innovation dans l'enseignement de la technologie. Il fait précéder les leçons sur les technologies particulières d'un cours de *technologie générale*, dans lequel les problèmes technologiques sont envisagés sous un point de vue général, collectif, indépendant des exigences particulières de chaque opération spéciale. Il fait abstraction de la machine en elle-

même, de son objet matériel, de son rôle dans une succession déterminée d'opérations mécaniques, pour s'attacher seulement au phénomène physique, à l'action mécanique qui s'accomplissent en elle, à l'effet qu'on en retire ; et cela, quelle que soit l'industrie à laquelle on pourra l'appliquer.

C'est ainsi qu'on étudiera les moyens techniques de *vaincre la gravité*, de *modifier les forces naturelles*, telles que : l'*attraction moléculaire*, l'*adhérence*, les *états physiques des corps*, *leurs positions respectives*.

Le livre du professeur Fischer : *Allgemeine Grundsatze und Mittel des Mechanischen Aufbereitens* est consacré au développement de cet ordre d'idées, qui marque un pas décisif vers un nouveau système d'étude et d'investigation des phénomènes physiques, situés à la base de la technologie mécanique.

F. D.

PÉRIODIQUES SUISSES.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Schweizerische Bauzeitung (3, 10, 17, 24 septembre ; 8 et 15 octobre 1898) : Mehrtens. — *La construction des ponts autrefois et aujourd'hui.* — Cet article est la reproduction d'un rapport fait, le 2 novembre 1897, à l'Association technique de Francfort-sur-le-Mein. Nous en avons déjà rendu compte (Voy. *Annales des Ponts et Chaussées*, 2e trimestre 1898, p. 362), d'après le *Zeitschrift für Architektur und Ingenieur wesen.*

—— (24 décembre 1898) : Züblin. — *Le viaduc du Rhin, à Eglisau.* Description, avec figures à l'appui, d'une travée métallique de 90 mètres de portée, établie pour le passage d'une ligne à voie unique dans la vallée du Rhin. De part et d'autre de cette travée se trouvent de nombreuses arches en maçonnerie qui complètent le viaduc. La travée métallique est formée de poutres droites en treillis de 9 mètres de hauteur ; la largeur du pont est de 5m,20, d'axe en axe, des poutres. La voie est établie à la partie supérieure des poutres, et les montants verticaux sont

distants de $4^m,50$ d'axe en axe. En raison de la hauteur de l'ouvrage au-dessus du fond de la vallée (58 mètres environ entre le dessus des poutres et le niveau des basses eaux ordinaires), le montage a été fait au moyen d'un pont provisoire de deux travées supportées par un grand pylone en charpente établi au milieu du fleuve.

Le poids total de la travée métallique est de 668 tonnes, et la dépense de 280.000 francs.

VI. — CHEMINS DE FER. — TRAMWAYS. — AUTOMOBILES.

Schweizerische Bauzeitung (22 et 29 octobre 1898) : *Le chemin de fer métropolitain électrique de Siemens et Halske, à Berlin.* — L'article, avec de nombreuses figures dans le texte, est consacré à la description de la ligne qui va du pont Warschau au jardin zoologique. Cette ligne, actuellement en construction, sera terminée avec ses annexes et ouverte au printemps de l'année 1900. Elle est établie sur un viaduc métallique et formera, avec la ligne déjà construite dans la partie Nord de la ville (Stadtbahn) un circuit complet. L'article donne des détails sur le tracé, le viaduc et les stations.

—— (12 novembre 1898) : *Le chemin de fer de l'Albula.* — L'article donne quelques détails sur un projet de chemin de fer destiné à pénétrer dans l'Engadine par le col de l'Albula et à relier Thusis à Saint-Moritz. La ligne aurait $63^{km},2$ de longueur et coûterait 19.600.000 francs. Le maximum des pentes serait de 25 millimètres ; il y aurait un tunnel de 5.860 mètres de longueur au passage de l'Albula.

G. H.

N° 19

ERRATA

AU COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES DU 4° TRIMESTRE 1898.

Périodiques Russes.

	Au lieu de	Lire
Page 308, I, 3e ligne,	Mobel	Nobel
Page 311, VI, 2e et 10e lignes,	Nassutinski	Vassutinski
Page 312, 2e et 3e ligne,	Lirtchak	Livtchak
Page 312, § 1er, 1re ligne,	V. Timonoff	V. Simonov
Page 312, § 2, 1re ligne,	Ingenering	Ingenerny

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

N° 20

OUVRAGES FRANÇAIS.

I. — Sciences appliquées.

Duplaix (M.). — Abaques des efforts tranchants et des moments de flexions développés dans les poutres à une travée par les surcharges du règlement du 29 août 1891 sur les ponts métalliques ; par Marcelin Duplaix, chef de division à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, professeur à l'École centrale, etc. In-8°, 106 p. Évreux, impr. Hérissey. Paris, libr. Carré et Naud.

Goulier (C.-M.) et C. Lallemand. — Études sur les méthodes et les instruments des nivellements de précision ; par C.-M. Goulier, colonel du génie en retraite, membre de la Commission du Nivellement général de la France. Revues, annotées et accompagnées d'une Étude sur les variations de longueur des mires, d'après les expériences du colonel Goulier, par Charles Lallemand, ingénieur en chef des mines, directeur du service du Nivellement général de la France. In-4°, xxxiv-252 p. avec fig., planches en coul. et portrait. Paris, Impr. nationale.
Ministère des travaux publics.

Kœchlin (M.). — Applications de la statique graphique ; par Maurice Kœchlin, administrateur de la Société de construction de Levallois-Perret. Texte. 2e *édition*, revue et augmentée. In-8°, xix-626 p. avec fig. Laval, impr. Barnéoud et Cie. Paris, libr. Baudry et Cie.

Laussedat (A.). — Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques ; par le colonel Laussedat, de l'Institut, directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.

T. I : Aperçu historique sur les instruments et les méthodes ; la Topographie dans tous les temps. In-8°, xi-450 p. avec fig. et grav. Paris, impr. et libr. Gauthier-Villars. 15 fr.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

AUCAMUS (E.). — Fumisterie, Chauffage et Ventilation ; par E. Aucamus, ingénieur des arts et manufactures. In-16, x-291 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères. Paris, libr. Vᵉ Dunod.

BINET (A.). — Contribution à l'étude des murs de réservoirs. Captation des fuites des enduits, note par Auguste Binet, ingénieur des Arts et Manufactures. Grand in-8°, 15 p. avec fig. Paris, impr. Chaix.

CARNOT (A.) et GOUTAL. — Emploi des sels cuivriques pour l'analyse des fontes et des aciers ; par MM. Ad. Carnot et Goutal. In-8°, 16 p. Tours, impr. Deslis frères ; Paris, libr. Vᵉ Dunod.

CHARPENTIER (J.). — Traité pratique et Méthode de la coupe des pierres par abrégé et par équarrissement ; par Jules Charpentier, appareilleur de la cathédrale de Dax. In-4°, 107 p. et grav. Dax, impr. Dusséqué.

L'ouvrage est accompagné d'un album de 53 pl. et d'une planche prime.

CODRON (C.). — Procédés de forgeage dans l'industrie ; par C. Codron, ingénieur civil, professeur du cours des arts mécaniques à l'Institut industriel du Nord. Deuxième partie (2ᵉ volume). In-8°, 428 p. et album in-8° de 51 pl. Paris, impr. Chaix ; libr. Bernard et Cⁱᵉ.

GAGES (L.). — Traité de métallurgie du fer. T. II : Travail des métaux ; par Léon Gages, capitaine d'artillerie, ancien élève de l'École polytechnique, etc. Avec 244 grav. dans le texte. Grand in-8°, 392 p. Dijon, impr. Darantière ; Paris, libr. Fritsch.

LEROSEY (J.). — Sur un nouveau mode de construction en béton armé des murs de réservoirs de grande capacité ; par J. Lerosey, lieutenant-colonel du génie. In-8°, 43 p. avec fig. Nancy, impr. et libr. Berger-Levrault et Cⁱᵉ. Paris, libr. de la même maison.

LE VERRIER (U.). — La Fonderie, par U. Le Verrier, ingénieur en chef des Mines, professeur au Conservatoire des arts et Métiers. In-16, 164 p. avec fig. Saint-Amand, impr. Destenay, Bussière frères ; Paris, libr. Gauthier-Villars.

PLANAT (P.). — Pratique de la mécanique appliquée à la résis-

tance des matériaux ; par P. Planat, directeur de la Construction moderne. *Nouvelle édition*, considérablement augmentée, 3 vol. grand in-8°, avec fig. et tabl. 1er volume (Principes et Tableaux graphiques ; Poutres droites ; Colonnes et Piliers), IV-585 p.; 2e volume (Fermes de charpentes en bois ; Fermes de charpentes en fer), 420 p. ; 3e volume (Murs-Soutènements ; Voûtes, Arcs-boutants et Contreforts ; Poutres droites en ciment armé), 523 p. Levallois-Perret, impr. Crété-de-l'Arbre. Paris, libr. Aulanier et Cie.

Pralon. — Sur les essais à la traction des cuivres et laitons, extrait d'un rapport présenté par M. le commandant Pralon. Avec 1 phototypie et 2 planches hors texte. In-8°, 55 p. Nancy, impr. et libr. Berger-Levrault et Cie, Paris, libr. de la même maison.

IV. — Navigation intérieure ;

Statistique de la navigation intérieure. Dépenses de premier établissement et d'entretien concernant les fleuves, rivières et canaux. Documents historiques et statistiques. In-4°, 348 p. et carte en couleurs. Paris, Impr. nationale. 4 fr.

Ministère des travaux publics.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Humbert (G.). — Traité des chemins de fer d'intérêt local (Chemins de fer à voie étroite ; Tramways ; Chemins de fer à crémaillères et Funiculaires) ; par G. Humbert, ingénieur des Ponts et Chaussées. Grand in-8°, VII-494 p. avec fig., Mâcon, impr. Protat frères ; Paris, libr. Baudry et Cie.

Milandre (C.) et R.-P. Bouquet. — Traité de la construction, de la conduite et de l'entretien des voitures automobiles, publié sous la direction de Ch. Vigreux, ingénieur civil, répétiteur à l'École centrale des Arts et Manufactures, par Ch. Milandre, ingénieur civil, et R.-P. Bouquet, ingénieur-électricien. 2 vol. in-16 avec fig. 1er volume (Construction), 302 p. ; 2e volume (Voitures automobiles à vapeur), 160 p. Paris, impr. et libr. Bernard et Cie.

Périsse (L.). — Automobiles sur routes ; par L. Périsse, ingénieur des Arts et Manufactures. In-16, 208 p. avec grav. Saint-Amand, impr. Bussière frères. Paris ; libr. Gauthier-Villars et fils.

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1896. Documents divers. Première partie : France (intérêt général). In-4°, vi-298 p. Paris, Imprimerie nationale. 5 fr.
Ministère des Travaux publics.

Ulrich (F.). — Les Chemins de fer d'État, les Voies navigables d'État et la politique économique de l'Allemagne; par Franz Ulrich, président de la direction des chemins de fer prussiens de Cassel. Traduit de l'allemand, avec une introduction, par Henry Haguet, ingénieur civil. In-8°, 62 p. Paris, impr. Wattier frères; bureaux du *Journal des Transports*, 29, rue de Londres.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Dumont (A.). — Le Canal d'irrigation du Rhône, et les Eaux de Nîmes, de Paris et de Londres. Étude du canal et Description des travaux exécutés à Nîmes pour la distribution des eaux du Rhône filtrées; État actuel de la question des eaux à Paris et à Londres; par Aristide Dumont, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 2e *édition*. In-4°, 50 p. Tours, impr. Deslis frères; Paris, libr. Ve Dunod.

Wéry (P.). — Assainissement des villes et égouts de Paris; par Paul Wéry, conducteur municipal des travaux de Paris. In-16, viii-663 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères; Paris, libr. Ve Dunod.

Zürcher. — Rapport sur la situation de la distribution des eaux de Sainte-Thècle, à Nice; par M. Zürcher, ingénieur des Ponts et chaussées à Toulon. In-8°, 23 p. Nice, impr. du *Petit-Niçois*.

VIII. — Machines.

Guilhaumon (J.-B.). — Éléments de machines à vapeur; par J.-B. Guilhaumon, ancien officier de vaisseau, professeur d'hydrographie. In-8°, 229 p. avec 129 fig. Nancy, impr. et libr. Berger-Levrault et Cie. Paris, libr. de la même maison. 5 fr.

Lavergne (G.). — Les Turbines; par Gérard Lavergne, ingénieur civil des Mines. 2e *édition*. In-16, 207 p. avec fig. Saint-Amand, impr. Bussière frères; Paris, libr. Gauthier-Villars et fils; 2 fr. 50.

Lecornu (L.). — Régularisation du mouvement dans les machines; par L. Lecornu, ingénieur en chef des Mines. In-16, 219 p.

avec fig. Saint-Amand, impr. Destenay, Bussière frères; Paris, libr. Gauthier-Villars et fils.

Lencauchez (A.). — Notes et Observations sur l'emploi de la vapeur comme puissance motrice; par M. A. Lencauchez. In-8°, 111 p. et pl. Paris, impr. Chaix; libr. Bernard et Cie.

Nadal (J.). — Théorie mathématique de la machine à vapeur; Action des parois; par M. J. Nadal, ingénieur au corps des Mines; In-8°, 114 p. Tours, impr. Deslis frères; Paris, libr. Ve Dunod.

IX. — Électricité appliquée.

Barbillion (M.-L.). — Sur la dispersion électrique (thèse); par M. L. Barbillion, ingénieur-électricien. Grand in-8°, 139 p. et pl. Chartres, impr. Durand; Paris, libr. Carré et Naud.

Blondel (A.) et F. Paul-Dubois. — La Traction électrique sur voies ferrées (Voie; Matériel roulant; Traction); par André Blondel et F. Paul-Dubois, ingénieurs des Ponts et Chaussées. 2 vol. in-8° avec 1.014 figures. T. I, xxxviii-845 p.; t. II, 867 p. Evreux, impr. Hérissey; Paris, libr. Baudry et Cie.

Bouty (E.). — Nouvelle méthode pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques; par E. Bouty, professeur à la Faculté des sciences de Paris. In-4° à 2 col., 16 p. avec fig. Evreux, impr. Hérissey; Paris, libr. Carré et Naud.

Dacremont (E.). — Électricité; par Édouard Dacremont, conducteur des Ponts et Chaussées, chef de section au service technique municipal de la ville de Paris. Première partie : Théorie et Production; Étude générale des phénomènes électriques; Piles; Magnétisme; Électro-magnétisme; Induction électro-magnétique; Courants alternatifs, etc. In-16, xi-494 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères; Paris, libr. Ve Dunod.

Excursion électrotechnique en Suisse par les élèves de l'École supérieure d'Électricité avec une préface de P. Janet. Paris, Gauthier-Villars, éditeur. 2 fr. 75.

Liénard (A.). — Champ électrique et magnétique produit par une charge électrique concentrée en un point et animée d'un mouvement quelconque; par A. Liénard, professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne. In-4° à 2 col., 23 p. avec fig. Evreux, impr. Hérissey; Paris, libr. Carré et Naud.

Lippmann (G.). — Unités électriques absolues. Leçons professées à la Sorbonne par M. G. Lippmann, membre de l'Institut.

Rédigées par M. A. Berget, docteur ès sciences. In-8°, II-244 p. avec fig. Evreux, impr. Hérissey; Paris, libr. Carré et Naud.

Picou (R.-V.). — Canalisations électriques. Lignes aériennes industrielles; par R.-V. Picou, ingénieur des Arts et Manufactures. In-16, 172 p. avec fig. Saint-Amand, impr. Bussière frères; Paris, libr. Gauthier-Villars. 2 fr. 50.

Rodet (J.). — Distribution de l'énergie par courants polyphasés; par J. Rodet, ingénieur des Arts et Manufactures. In-8°, VIII-338 p. avec fig. Paris, impr. et libr. Gauthier-Villars.

X. — Architecture.

Choisy (A.). — Histoire de l'architecturé; par Auguste Choisy. Figures gravées en taille-douce par J. Sulpis. 2 vol. in-8°. T. I, 647 p.; t. II, 804 p. Paris, impr. et libr. Gauthier-Villars.

Cloquet (L.). — Traité d'architecture (Éléments de l'architecture; Types d'édifices; Esthétique, Composition et Pratique de l'architecture); par L. Cloquet, architecte. 3 vol. in-8°. T. I (Murs; Voûtes; Arcades), VII-419 p. avec 1.000 fig.; t. II (Portes; Fenêtres; Cheminées; Charpentes; Menuiseries; Planchers; Escaliers; Combles; Couvertures), 552 p. avec 1.260 fig.; t. III (Hygiène; Chauffage; Ventilation), 108 p. avec 103 fig. Lille, impr. Desclée, de Brouwer et Cie; Paris et Liège, libr. Baudry et Cie.

XII. — Divers.

Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1899. — Indépendamment des renseignements habituels, l'Annuaire de 1899 contient une notice de l'ingénieur-constructeur P. Gautier, *sur le Sidérostat à lunettes de 60 mètres de foyer et de* $1^m,25$ *d'ouverture*, qu'il construit pour l'Exposition de 1900; la *Notice sur les ballons-sondes*, par M. Bouquet de la Grye, et la *Notice sur la Géodésie moderne en France*, par le colonel Bassot. In-18 de VI-784 p. avec 2 cartes magnétiques. Gauthier-Villars, éditeur. 1 fr. 50.

Annuaire de l'Observatoire municipal de Paris, dit Observatoire de Montsouris, pour l'année 1899 (Analyse des travaux de 1897). Météorologie. — Chimie. — Micrographie. — Applications à l'hygiène. Gauthier-Villars, éditeur. 2 fr.

Cheysson (E.). — Les Accidents du travail. Observations présen-

tées devant la Société d'économie sociale, les 14 février et 14 mars 1898, par M. E. Cheysson, inspecteur général des Ponts et Chaussées, ancien directeur du Creusot. In-8°, 36 p. Paris, impr. Levé ; libr. Guillaumin et Cie.

Launay (L. de). — Recherche, Captage et Aménagement des sources thermo-minérales; Origine des eaux thermo-minérales: Géologie ; Propriétés physiques et chimiques. Cours professé à l'École supérieure des Mines, par L. de Launay, professeur à l'École nationale supérieure des Mines. In-8°, x-642 p. avec fig. Évreux, impr. Hérissey ; Paris, libr. Baudry et Cie.

Lemoine (G.) et Babinet. — Ponts et Chaussées. Service hydrométrique du bassin de la Seine. Observations sur les cours d'eau et la pluie centralisées pendant l'année 1897, sous la direction de MM. Fargue, Brosselin et Salva, inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées, présidents de la Commission d'annonce des crues, directeurs du service hydrométrique du bassin de la Seine; par M. G. Lemoine, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. Babinet, ingénieur des Ponts et Chaussées. In-f°. 28 p., feuilles 1 à 7, avec grav. Paris, Impr. nationale.

1899. — 1er TRIMESTRE.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE D'INSERTION.

L'Editeur-Gérant : Vve CH. DUNOD.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

1re PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

7e SÉRIE

9e ANNÉE

1899

2me TRIMESTRE

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES

DE L'ÉDITEUR DES ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

(Période 1881-1900)

Conditions stipulées au profit des auteurs :

Vingt-cinq exemplaires seront remis à chacun des auteurs des mémoires publiés.

. . . .

Mme Dunod devra exécuter, pour le compte des auteurs qui en auront fait la demande au moment même où ils enverront leurs manuscrits à l'Administration, et sur l'avis qui lui en sera donné, des tirages à part de leurs mémoires aux prix suivants :

1° Par *feuille de texte* et pour le premier cent d'exemplaires, 10 francs ; pour chaque centaine en plus, 5 francs ;

2° Par *planche* et par cent exemplaires, 10 francs ;

3° Pour *brochage, couverture et faux frais :* pour une feuille de texte seule, 2 fr. 50 ; pour chaque feuille supplémentaire ou chaque planche, 25 centimes ;

4° Pour un *titre spécial imprimé*, 10 francs.

Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec Mme Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits des *Annales* qu'ils voudraient publier séparément pourront, avec l'autorisation de l'Administration, traiter avec tout autre éditeur et, dans ce cas, les planches et les bois des *Annales* pourront leur être prêtés pour les tirages qu'ils auront à faire ; mais la mise en vente de leurs mémoires ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons des *Annales* auxquelles ils auront été empruntés.

AVIS IMPORTANT.

La Commission des *Annales* rappelle qu'elle n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs, et qu'elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

Ire PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

7e SÉRIE

9e ANNÉE

—

1899

2ME TRIMESTRE

PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS
RELATIFS
A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

N° 21

NOTICE
SUR
LA VIE ET LES TRAVAUX
DE M. FÉNOUX
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Par M. CONSIDÈRE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

M. Victor Fénoux est né, le 5 février 1831, à Boulogne-sur-Mer où son père, alors officier d'infanterie, était en garnison, mais il appartient au département du Finistère par sa famille paternelle, par ses intérêts, par son mariage et par sa vie d'homme qui s'y est entièrement écoulée jusqu'au jour où il a été appelé à Paris pour prendre place au Conseil général des Ponts et Chaussées. Encore a-t-il été, pendant six ans, chargé de l'inspection qui

comprenait le Finistère. On trouverait peu d'exemples d'hommes qui aient rempli une si belle et utile carrière sans s'éloigner du pays auquel tout les attachait.

Entré en 1851 à l'École Polytechnique, avec le dix-neuvième rang, M. Fénoux sortit le septième en 1853, pour entrer à l'École des Ponts et Chaussées. En 1856, il en sortit le second et remplit en Angleterre, en Belgique et en Hollande une mission qui lui valut les félicitations du Ministre.

Le 1er janvier 1857, il fut nommé Ingénieur à Morlaix, où il trouva immédiatement l'occasion d'exécuter des travaux importants.

Les Morlaisiens avaient sollicité pendant longtemps la transformation en bassin à flot de la partie amont de la rivière à marée autour de laquelle la ville s'est formée L'avant-projet avait été fait, en 1840, par M. Plantier, et le projet définitif, en 1845, par M. Aumaître. Les travaux entrepris en 1848 consistaient en un barrage avec déversoir, vannes de fond et sas éclusé de 72 mètres de longueur et 16 mètres de largeur. Au moment de l'arrivée de M. Fénoux, la dépense faite était de 450.000 francs; il a terminé les travaux qui ont coûté, en tout, 630.000 francs.

La création d'un bassin à flot améliorait beaucoup le port de Morlaix. Complétée par les rectifications du chenal qui étaient déjà projetées, elle devait permettre l'accès de navires de 63 mètres de longueur et de 5m,25 de tirant d'eau, et diminuer le prix du fret dans une large mesure.

Pour tirer de ces travaux toute l'utilité qu'ils pouvaient produire, il fallait relier Morlaix à Carhaix et au centre du Finistère par un réseau de voies ferrées. M. Fénoux en fit les premières études qui aboutirent, le 22 juillet 1881, à la déclaration d'utilité publique de la ligne de Carhaix à Morlaix avec embranchement reliant le port à la gare.

En même temps, l'activité du jeune Ingénieur trouvait

d'autres aliments. Dans le Service ordinaire et maritime il exécutait pour 600.000 francs de travaux divers : construction de routes neuves, quais, tourelles en mer, fanaux, etc. Il venait d'être nommé Ingénieur de 2e classe, le 1er août 1859, lorsqu'une question d'importance capitale vint réclamer tout ce qu'il avait de zèle et d'énergie.

L'État avait entrepris l'infrastructure de la ligne de Rennes à Brest, et M. Fénoux avait été chargé, le 1er septembre 1859, d'un lot de 41 kilomètres ayant son origine à la limite des Côtes-du-Nord et du Finistère. Les études commencées par la Compagnie de l'Ouest étaient peu avancées, et c'est bien M. Fénoux qui y prit une part prépondérante, sous la direction de M. l'Ingénieur en Chef Planchat.

Le tracé adopté aux abords de Morlaix a été très discuté et, actuellement encore, nombre d'habitants de cette ville soutiennent que la voie ferrée aurait pu descendre dans deux vallons qu'elle domine et s'abaisser au niveau de la ville, au lieu de la franchir en viaduc à 54 mètres au-dessus des quais, auxquels les wagons ne pourront accéder que par un raccordement coûteux et exigeant des dépenses importantes d'exploitation.

Peut-être, en effet, si l'on avait construit la ligne de Brest à Rennes vingt ans plus tard, aurait-on moins redouté l'emploi plus fréquent des pentes et des rayons limites; mais il est probable que la solution directe, adoptée conformément à l'avis de M. Fénoux, sera reconnue définitivement la plus rationnelle au point de vue de la somme des intérêts de la collectivité, quand la ligne de Brest, armée de la seconde voie qu'on achève, aura pris l'importance stratégique que les appréhensions récentes d'une guerre maritime ont fait reconnaître avec plus de netteté.

On doit envisager aussi l'éventualité de l'établissement

à Brest de têtes de lignes ou d'escales de services transatlantiques, car un accroissement suffisant de la prépondérance des grands courants de circulation sur le trafic local justifierait pleinement l'adoption du tracé qui réduit au minimum les pentes, les courbes, la longueur de la ligne et les frais d'exploitation, et qui donne à la voie ferrée une plus grande puissance de transport.

Quoi qu'il en soit, les travaux de la section confiée à M. Fénoux ont coûté environ 12.500.000 francs, dont 2.500.000 francs pour le grand viaduc de Morlaix. Ce bel ouvrage, qui franchit la ville en amont du bassin à flot, a une longueur entre culées de 275 mètres et domine les quais de 54 mètres. Il comprend quatorze voûtes de 15^{m},50 d'ouverture, qui portent la voie ferrée.

Avec ses piles au puissant empattement et les voûtes qui les entretoisent à 19^{m},33 au-dessus des quais, le viaduc de Morlaix donne, à un degré rare, l'impression de solidité et de durée qui convient aux grands ouvrages.

Pendant son séjour à Morlaix, M. Fénoux s'était allié à l'une des familles les plus honorables et les plus importantes de cette ville, et avait augmenté ainsi les liens qui l'unissaient à la terre bretonne, en même temps qu'il s'était assuré le bonheur domestique par le choix qu'il avait fait de la compagne de sa vie.

La nouvelle voie ferrée venait d'être terminée lorsque M. Fénoux, nommé Chevalier de la Légion d'honneur le 13 août 1864, fut envoyé à Brest le 16 juillet, pour continuer, sous les ordres de M. l'Ingénieur en Chef Maitrot de Varennes, puis de M. Planchat, les travaux du port Napoléon qui porte actuellement le nom de Port de Commerce.

Ce grand établissement maritime occupe un emplacement de 38 hectares conquis sur la rade, à l'est de l'embouchure de la Penfeld, qui forme le port militaire. Il est abrité au Sud par un môle isolé d'un kilomètre de lon-

gueur, orienté sensiblement Est-Ouest et parallèle à la côte. Deux jetées enracinées aux terre-pleins formés au moyen des curages des bassins et présentant ensemble une longueur de plus de 900 mètres limitent et protègent le port à l'Est et à l'Ouest. Les passes comprises entre leurs musoirs et le môle du Sud ont 130 mètres de largeur.

Deux éperons et un vaste terre-plein avec cales et plateau de carénage portent à 2.300 mètres de longueur les quais accostables et subdivisent le port en quatre parties communiquant librement entre elles.

Le niveau de la mer varie de 7^m,50 en vives eaux. Aux plus basses mers, la profondeur d'eau au pied des quais est de 7^m,50 sur 1.710 mètres. Les quais d'échouage ont une longueur de 590 mètres.

Les projets ont été dressés par M. de Carcaradec, alors Ingénieur ordinaire, sous la direction de M. l'Ingénieur en Chef Maitrot de Varennes, et la dépense faite s'élevait à 8.600.000 francs, quand M. Fénoux prit possession du service. Le môle du Sud et les jetées de l'Est et de l'Ouest étaient à peu près terminés.

Ces ouvrages avaient été fondés au moyen d'enrochements jetés sur la vase dont est formé le fond de cette partie de la rade de Brest. Sur leur surface bien dressée, on avait posé des blocs artificiels destinés à porter les maçonneries de la superstructure.

Des accidents survenus en plusieurs points décidèrent à draguer la vase à l'emplacement des quais restant à construire et à faire reposer les enrochements sur le rocher. Ce mode de fondation fut seul employé par M. Fénoux dans la construction des murs de quai qu'il établit autour des divers bassins. Il ne donna lieu à aucun mécompte.

En même temps, on faisait, pour approfondir le port et les passes, des dragages considérables dont les produits

servaient à former les vastes terre-pleins que l'État aliène peu à peu, à des prix élevés, suivant les besoins de la ville nouvelle qui se forme près du Port de Commerce.

M. Fénoux, qui avait été nommé Ingénieur de 1re classe le 1er janvier 1870, a dépensé 9.100.000 francs de 186 à 1874 pour ces travaux et n'a laissé que 2.300.000 francs à dépenser à son successeur. Il a donc pris une part très importante à l'exécution du Port de Commerce de Brest qui est son œuvre dans une large mesure et, bien qu'il n'ait contribué en rien aux décisions qui ont eu pour conséquence la création de ce port, on ne peut guère s'abstenir de mentionner les appréciations diverses dont son utilité a été l'objet.

En moyenne, le port de Brest reçoit annuellement 7.500 navires jaugeant 380.000 tonneaux, et le poids des marchandises est de 320.000 tonnes à l'importation et de 140.000 tonnes à l'exportation. Il y a une évidente disproportion entre ces chiffres et le coût du Port de Commerce qui s'est élevé à 20 millions, et il est démontré une fois de plus, par cet exemple, qu'un port situé à l'extrémité d'une presqu'île ne peut importer ni exporter des marchandises à destination ou en provenance d'une région très étendue. Mais il n'est pas impossible qu'après avoir déjoué les prévisions prochaines des promoteurs enthousiastes de la création du port Napoléon, les événements donnent tort à leurs adversaires.

On sait que l'établissement à Brest du point de départ de la ligne de New-York a été très sérieusement proposé au Parlement lors du renouvellement récent du traité de la Compagnie Transatlantique ; on alléguait en sa faveur des raisons très fortes dont la valeur semble ne pouvoir que s'accroître, car Brest a, sur le Havre, des avantages indiscutables au point de vue de la durée du trajet de Paris à New-York, que l'on cherchera toujo

à réduire, et de l'emploi des navires à grande vitesse, dont on ne saurait prévoir les limites de longueur et de tirant d'eau.

D'autre part, des événements qu'on n'oubliera plus, ont fait comprendre que la grandeur et les intérêts de la France pouvaient dépendre d'une campagne navale et, par suite, des ressources que la Marine trouverait à Brest pour ravitailler la flotte et réparer rapidement ses avaries. Or quelques travaux que la Marine ajoute à ceux qu'elle a exécutés récemment en rade de Brest, le Port de Commerce ne restera pas moins, en cas de guerre, un instrument d'une puissance considérable avec ses 2.400 mètres de quais accostables, ses ateliers et, sans doute, avec la grande forme de radoub qui est projetée et pour laquelle la Ville et la Chambre de Commerce de Brest offrent 2 millions, c'est-à-dire plus de la moitié de la dépense nécessaire.

Il y a donc lieu de penser que l'avenir mettra hors de contestation l'utilité des travaux auxquels M. Fénoux a consacré tant de travail. Toutefois ce n'est pas la seule œuvre qu'il ait accomplie pendant son séjour à Brest et, en plus de nombreux travaux de ports, il a projeté et exécuté deux phares en mer dans des conditions particulièrement difficiles : ceux des Pierres-Noires (350.000 francs) et du Four (300.000 francs). Il a aussi dirigé, de 1867 à 1874, les travaux du phare d'Armen, qui n'ont pu être terminés qu'en 1881, après quatorze années d'efforts ininterrompus. Il semble qu'à l'heure actuelle encore, il n'y ait aucun phare aussi audacieux que celui d'Armen, dont la tour, établie sur une roche étroite qui ne découvre qu'à basse mer, est isolée dans des parages redoutables à 12 kilomètres au-delà de l'île de Sein et à 20 kilomètres du continent.

Les services rendus par M. Fénoux furent jugés assez signalés pour lui faire confier, dès le 1er juin 1875, les fonctions d'Ingénieur en Chef du service maritime du département du Finistère, auquel fut ajouté, le 18 février 1876, le service des études du chemin de fer de Brest au Conquet et celui des études et travaux des lignes de Morlaix à Roscoff, de Quimper à Douarnenez, de Quimper à Pont-l'Abbé et de Rosporden à Concarneau.

Le 1er juin 1876, M. Fénoux fut nommé Ingénieur en chef, et le service ordinaire du Finistère, qui était devenu vacant, lui fut également confié, le 1er mars 1877.

L'important service ainsi formé pouvait satisfaire son activité. Chaque année, la navigation et plus encore la pêche côtière se développaient dans ce grand département maritime, dont le littoral a 740 kilomètres de développement, et il était aussi intéressant qu'utile d'étudier les besoins qui se révélaient sans cesse et d'y faire donner satisfaction.

Une autre œuvre importante s'offrait à l'activité de M. Fénoux, c'était la construction de petites lignes d'intérêt général, destinées à amener aux grands réseaux et aux centres de consommation les populations maritimes, ainsi que les légumes de Roscoff et les produits de la pêche de Douarnenez, de Concarneau et des ports voisins de Pont-l'Abbé. Les Ingénieurs en furent chargés, et quatre lignes ayant une longueur de 79 kilomètres furent étudiées et construites par eux de 1879 à 1884, moyennant une dépense de 15.760.000 francs. Elles ont nécessité la construction de deux viaducs métalliques. L'un fait franchir la rivière maritime la Penzé à la ligne de Roscoff à 41 mètres de hauteur au-dessus des basses mers : il comporte quatre travées de 60m,60 et de 47m,75 d'ouverture. Il a été construit, sous les ordres de M. Fénoux, par son gendre, M. Tarot, qui a été enlevé prématurément au Corps des Ponts et Chaussées. L'autre viaduc met la

ville de Douarnenez en communication avec sa gare, située sur l'autre rive de la rivière maritime de Port-Rhu, qu'il franchit à 23^{m},975 de hauteur au-dessus des basses mers, au moyen de trois travées de 50 mètres d'ouverture.

M. Fénoux fut nommé Ingénieur en Chef de 1re classe le 1er février 1881, et officier de la Légion d'honneur le 6 juillet 1883, lors de l'inauguration de la ligne de Rosporden à Concarneau. Tout en dirigeant ces travaux, M. Fénoux conduisait son important service ordinaire avec beaucoup de soin et d'habileté, et il mettait dans ses rapports avec le public une bienveillance qui lui conciliait la faveur du Conseil général du Finistère. Cette assemblée était alors présidée par M. Rousseau, dont le nom restera associé aux œuvres utiles qui ont été accomplies dans le Finistère pendant plus de vingt-cinq ans. Elle profita de la mise à la retraite de l'Agent Voyer en Chef pour confier la direction du service vicinal non pas à l'Ingénieur en Chef du Finistère, mais personnellement à M. Fénoux.

L'organisation alors adoptée, et maintenue depuis avec quelques changements de détail, peut paraître bizarre. Sous la direction de M. Fénoux, le Service était conservé aux Agents Voyers d'Arrondissement de Brest, Châteaulin et Quimperlé et, au contraire, donné aux Ingénieurs à Quimper et Morlaix.

Sur 39 subdivisions, 29 restaient à des Agents Voyers, et 10 étaient réunies aux services des Conducteurs des Ponts et Chaussées les mieux placés pour s'occuper de service vicinal.

Sans doute, cette organisation hétérogène n'a pas réalisé l'idéal de M. Fénoux ; mais le siège du Conseil général était fait : non seulement il voulait respecter les droits acquis du personnel vicinal et laisser aux Agents cantonaux l'espérance d'arriver au grade d'Agent Voyer d'Arrondissement, mais il tenait aussi à conserver un

noyau de personnel vicinal au moyen duquel il fût à même de reconstituer un service complètement autonome, si le Ministre envoyait à Quimper un Ingénieur en Chef qui ne lui convînt pas. Il voulait donner l'investiture au Chef du service départemental et pouvoir le changer au besoin.

M. Fénoux comprit que les intentions du Conseil général étaient bien arrêtées, et il accepta le *modus vivendi* qui lui a survécu et qu'il n'y a pas de raisons pour modifier, parce qu'il donne de bons résultats.

La part prise par M. Fénoux à cette réorganisation du service vicinal permet de caractériser une des dominantes de son esprit et de son caractère.

Les spéculations scientifiques et la recherche de l'absolu tenaient peu de place dans ses préoccupations. En toute chose, il voyait nettement le but que l'on pouvait atteindre, et il écartait d'une main habile les obstacles qui l'en séparaient, sans s'attarder à regretter le mieux, quand il le jugeait inaccessible.

Pour achever de caractériser l'homme, après avoir indiqué l'œuvre de l'Ingénieur, je ne peux mieux faire que de relater un propos que M. Fénoux a tenu en ma présence : « J'ai besoin d'être aimé », disait-il, et, en effet, il lui fallait une atmosphère de sympathie, et sa bienveillance a souvent arrêté sa main prête à frapper. Aussi n'a-t-il laissé, sans doute, aucun ennemi dans le nombreux personnel qu'il a dirigé et même dans le département où il a touché à tant et à de si grands intérêts.

M. Fénoux était naturellement désigné pour l'inspection : il avait rendu à l'État et au département des services éminents, exécuté des travaux pour plus de 45 millions, dont 25 comme Ingénieur en Chef ; il avait organisé et dirigé, avec un grand succès, un des gros services de France, comprenant 935 kilomètres de routes, 60 ports classés, 52 phares et fanaux, le balisage, les chemins de fer, le service hydraulique et le service vicinal (1.600 kilo-

mètres de chemins de grande communication et d'intérêt commun et 3.500 kilomètres de chemins vicinaux ordinaires).

Aussi s'explique-t-on facilement que, dès 1883, il pût être proposé pour le grade d'Inspecteur général par les trois Inspecteurs qui avaient à donner leur avis sur le Service des Phares et Balises (M. Leferme), le service des Chemins de fer (M. Vicart) et le service ordinaire (M. Lagrange).

Voici en quels termes flatteurs ce dernier présentait sa proposition :

« M. Fénoux est un Ingénieur en Chef hors ligne, éga-
« lement habile comme administrateur et comme cons-
« tructeur.

« Il s'occupe de tous les détails avec une attention sou-
« tenue et une grande compétence.

« Il est très aimé dans son département où il s'est
« créé une situation exceptionnelle. »

« L'Administration a un réel intérêt à le faire entrer à
« bref délai au Conseil général des Ponts et Chaussées »,
disait M. Leferme dès 1884.

« Les chemins de fer qu'il a livrés à l'exploitation et
« ceux qui vont être inaugurés sont d'une rare perfection »,
écrivait M. Vicart en 1883.

M. Fénoux fut nommé Inspecteur général le 1er décembre 1885, trois ans avant tout autre Ingénieur de sa promotion. Il n'avait alors que cinquante-quatre ans et pouvait être heureux de voir ses services reconnus avec tant d'éclat.

Il est plus délicat encore pour moi, qui ai été sous les ordres de M. Fénoux, de parler du rôle qu'il a joué comme Inspecteur que de sa carrière d'Ingénieur, et il ne me serait pas venu à l'esprit qu'il pût m'appartenir de raconter ici sa vie, si je n'y avais été incité récemment par des hommes qui ont le droit de parler au nom du Corps des

Ponts et Chaussées. Ils ont bien voulu m'aider à remplir la dernière partie de ma tâche pieuse.

La simple énumération des œuvres qui ont rempli la carrière de M. Fénoux prouve surabondamment qu'il avait les qualités d'Ingénieur et de chef de service; mais il importe de marquer les dons qu'il possédait à un degré supérieur et qui devaient le faire distinguer au Conseil parmi tant de collègues éminents.

Les opérations efficaces de l'esprit se rattachent à deux types opposés, l'analyse et la synthèse. Les hommes exclusivement doués pour la première se replient sur eux-mêmes et, dans chaque phase de leur vie, sont absorbés par quelques idées prédominantes. L'éclat avec lequel elles leur apparaissent, les empêche souvent de discerner bien nettement tout le reste. Sans que leur volonté intervienne, ils sont fortement attachés à ces idées et entrent difficilement dans la pensée des autres.

A l'extrême opposé, certains esprits tournés vers le dehors, ouverts et avisés, perçoivent rapidement et sûrement ce qui existe ou se passe autour d'eux; ils pèsent et comparent et, exempts de l'influence dominante des idées personnelles, ils saisissent facilement ce qu'il y a de vrai ou de pratique dans les idées d'autrui et arrivent à dégager les solutions qui peuvent aboutir. Dans les assemblées délibérantes ou consultatives, les hommes qui possèdent ces facultés à un degré éminent, sont particulièrement utiles; après l'exposé des idées originales et diverses, c'est à eux qu'il appartient généralement de trouver la formule qui peut rallier les suffrages.

Ce rôle si utile, M. Fénoux était exceptionnellement apte à le remplir et, lorsqu'il prit une part active aux discussions du Conseil général des Ponts et Chaussées, il fut immédiatement remarqué et nommé membre des Commissions les plus importantes, où il rendit de signalés services.

D'après les renseignements qu'ont bien voulu me donner quelques-uns de ses collègues, je citerai :

« Commission des Phares, Commission des *Annales des Ponts et Chaussées*, Commission chargée de préparer le programme des expériences à faire sur les ciments, et enfin Commission de vérification des comptes des Chemins de fer. »

D'abord chargé du service central des Phares, où il n'eut pas le temps de donner sa mesure, M. Fénoux fut, le 16 août 1886, chargé du XIIe arrondissement d'Inspection générale, qui comprenait les cinq départements bretons. Le 16 août 1888, à cette Inspection déjà très lourde on adjoignit l'Inspection générale des travaux neufs des lignes comprises dans le réseau de l'Ouest.

Le 7 février 1892, M. Fénoux fut nommé Inspecteur général de 1re classe, et son mérite faisait prévoir que, pendant bien des années, il présiderait, avec distinction, le Conseil général des Ponts et Chaussées, lorsqu'il ressentit les premières atteintes du mal auquel il devait succomber.

Il avait été nommé président de la Commission d'Inspecteurs généraux chargée d'examiner la suite à donner aux projets des Ingénieurs pour l'amélioration de la navigation de la Saône. Il était déjà fatigué par les examens des Conducteurs aspirant au grade d'Ingénieur qu'il avait présidés. Il voulut néanmoins diriger sur les lieux l'enquête dont il était chargé ; mais ses forces trahirent son dévouement au devoir, et il revint à Paris, frappé par la maladie qui ne devait pas tarder à l'emporter. Esclave du devoir, il sollicita sa mise à la retraite le jour où il se sentit menacé d'être inférieur à sa tâche. Sur ses instances, l'Administration la lui accorda, le 1er janvier 1894, après avoir hésité longtemps à se priver d'un de ses meilleurs serviteurs.

On devine combien fut grand le sacrifice que s'imposa

ainsi un homme qui avait aimé si passionnément, on peut le dire, le Corps auquel il appartenait, et les grandes affaires dont il était chargé. L'affection profonde et dévouée de sa compagne et de ses enfants apporta à M. Fénoux toutes les consolations qui pouvaient adoucir la triste fin d'une si brillante carrière. Il mourut le 9 septembre 1895 à Morlaix, où il avait fait ses premiers travaux et remporté ses premiers succès.

N° 22

MÉMOIRE

SUR LA

CONSTRUCTION DU PONT DE L'OUED ENDJA

(DÉPARTEMENT DE CONSTANTINE, ALGÉRIE)

Par A. DAUJON, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Exposé.

La route de Constantine à Djidjelli par Mila franchit l'Oued Endja, à 75 kilomètres de Constantine, sur un pont métallique à six travées solidaires de 312 mètres d'ouverture totale.

Ce pont, avec ses abords, a été construit à forfait par la Société des Ponts et Travaux en fer (Siège social 93, rue Taitbout, Paris), en vertu de conventions du 4 juin 1895 et du 14 mai 1897 passées avec le département de Constantine. Les travaux ont duré plus de trois ans.

Les fondations des appuis ont été faites à l'air comprimé, à travers un terrain d'alluvions parsemé de gros blocs, au moyen de caissons métalliques de faible superficie.

Le tablier métallique, d'une longueur totale de 314 mètres, comporte un treillis à grandes mailles et a été mis en place par voie de lançage.

Les fondations des appuis et le lançage du tablier ont

donné lieu, en cours d'exécution, à un certain nombre d'observations intéressantes dont la relation fait l'objet du présent mémoire.

CHAPITRE I.

FONDATIONS.

---

§ I. — Régime de la rivière, terrain traversé et sol de fondation.

L'Oued Endja est une rivière à allure torrentielle descend des massifs montagneux de la Petite Kabylie se jette dans la Méditerranée ; comme la plupart des co d'eau d'Algérie, elle est presque à sec en été et est suje en hiver et au printemps à des crues de faible dur mais parfois extrêmement violentes. Lors des crues janvier 1886 et décembre 1896 notamment, les eaux mées d'une vitesse considérable occupèrent, avec hauteur d'environ 3 mètres, une largeur de plus 200 mètres.

Le lit, dont l'aspect varie à chaque crue, est formé galets et de sables vaseux auxquels se mêlent des b de grès d'autant plus gros qu'ils sont plus profondém enterrés; le fond, à des profondeurs qui varient e 6 mètres et 12 mètres sous l'étiage, est constitué par banc de calcaire schisteux compact.

Nous donnons (*fig.* 1 et 2, pl. 12) le plan et la co transversale de la vallée à l'emplacement du pont.

Tous les appuis reposent sur le schiste et s encastrés, en général, de $0^m,30$; les massifs de fond

situés au-dessous de l'étiage (à la cote 203,00) ont été faits au moyen de caissons métalliques (perdus) foncés à l'air comprimé.

§ II. — Dispositions générales des caissons.

Les caissons en fer ont tous été construits sur le même type et avec les dispositions d'ensemble ordinairement adoptées aujourd'hui ; ils étaient donc à parois verticales et comportaient chacun : 1° une chambre de travail avec amorce de cheminée dans le plafond et consoles de raidissement le long des parois verticales ; 2° une chemise supérieure formée de hausses en tôle. Les croquis schématiques donnés (*fig.* 3, 4, 5) font connaitre les dimensions principales de chacun d'eux.

Les poids des fers entrant dans la constitution des caissons sont fournis par les tableaux ci-après.

I. — Poids des chambres de travail comptées depuis le tranchant du couteau jusqu'au bas du premier rang de hausses (soit un peu au-dessus de l'arête supérieure des poutres du plafond), rivets compris.

	TOTAL (*)	PAR MÈTRE CARRÉ
Culée rive droite	5.220k	357k
Piles nos 1, 2 et 3, l'une	6.330	311
Pile n° 4	6.472	318
Pile n° 5	6.812	335
Culée rive gauche	5.759	317

(*) Les poids totaux donnés dans ce tableau sont sensiblement plus faibles que ceux auxquels conduirait l'application des formules de M. Séjourné (*Ann. des P. et C.*, 1883).

II. — POIDS DES HAUSSES (épaisseur : 5 millimètres), RIVETS COMPRIS.

	PAR MÈTRE de haut. de caisson
Culée rive droite	740^{k}
Pile	909
Culée rive gauche	839

Il y a à signaler les points suivants :

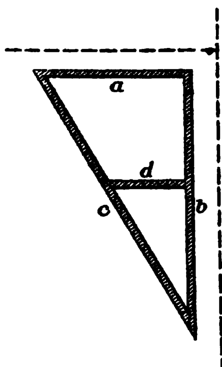
1° Parois de la chambre de travail. — Les parois verticales de la chambre de travail étaient formées de tôles de 6 millimètres disposées horizontalement, et les joints de tôle étaient faits à recouvrement dans les parties visibles, c'est-à-dire en dehors des consoles. Souvent les feuilles de tôle sont disposées verticalement avec joints correspondant aux consoles (*) ; mais ce mode de construction présente l'inconvénient grave de laisser à faire sur le chantier un travail de rivure important. Avec le système adopté on a pu réduire le travail de rivure fait au chantier d'une façon sensible.

2° Consoles de la chambre de travail. — Les consoles étaient espacées de 1^{m},00 environ. Tout d'abord, dans chacune d'elles, les pièces *a*, *b*, *c* étaient formées d'une seule cornière de $\frac{60 \times 60}{5}$; et la pièce *d* d'une seule cornière de $\frac{50 \times 50}{5}$; le poids d'une console était de 50 kilogrammes environ. Mais l'expérience prouva que les consoles ainsi constituées étaient trop grêles et se voilaient ;

(*) Voir, par exemple, les caissons du pont de Marmande (*Annales*, 1883, 1er semestre, pl. 3, *fig.* 9 et 10).

dans les derniers fonçages on doubla toutes les cornières.

Ordinairement, du reste, les pièces *a*, *b*, *c*, *d*, sont formées de deux cornières accouplées ╨ ; mais, dans l'espèce, la Société, invoquant les résultats acquis dans les fonçages du caisson de Missiessy (arsenal de Toulon) et du caisson de l'écluse de Saint-Aubin (sur la Seine), avait cru pouvoir supprimer une cornière sur deux. Les conditions n'étaient cependant pas les mêmes, car, à Missiessy et à Saint-Aubin, les caissons ne servaient pas, à vrai dire, à des fonçages à l'air comprimé : c'étaient, en réalité, des caisses étanches lestées par de la maçonnerie que l'on échouait dans une fouille draguée à profondeur voulue et où l'air comprimé ne servait qu'à asseoir solidement l'ouvrage sur le sol, la drague ne pouvant pas régler suffisamment celui-ci pour que le fond du caisson reposât dessus convenablement. Au pont de l'Oued Endja, au contraire, le caisson devait faire sa trouée progressivement à travers un sol non homogène, en recourant, ainsi qu'on le verra plus loin, à des lâchures brusques de pression.



3° **Hauteur de la chambre de travail.** — La hauteur de la chambre de travail adoptée au début des fonçages était de 2 mètres ; mais elle ne donnait pas assez de rigidité aux parois et elle fut abaissée à 1m,80 dans les derniers caissons foncés. C'est, d'ailleurs, la dimension minima généralement adoptée dans les fondations à l'air comprimé.

4° **Hausses.** — Les hausses étaient, comme les parois de la chambre de travail, formées de tôles horizontales de

$0^m,985$ de hauteur se recouvrant de $0^m,05$; elles avaient 5 millimètres d'épaisseur et étaient raidies chacune à $0^m,15$ de la couture supérieure par des cornières horizontales de $\frac{50 \times 50}{5}$ avec rivets de 12 millimètres espacés de 200 millimètres.

La rivure des tôles a été faite à chaud avec rivets de 12 millimètres écartés de 40 millimètres. Pour assurer l'étanchéité, ou plutôt pour que l'eau ne pénétrât qu'à l'état de suintements, on a intercalé du gros papier gris et on a passé une ou deux couches de peinture au minium de plomb sur les coutures dans le but d'y introduire une matière grasse pouvant diminuer les vides; enfin on a soigné particulièrement les points de rencontre de trois tôles en tirant des pinces aux angles de chacune d'elles.

Dans les caissons en terrains ordinaires, les hausses sont en tôle mince de 3 à 4 millimètres d'épaisseur, et elles n'ont qu'un but : faciliter la descente en diminuant les frottements et mettre les parements d'une maçonnerie récente à l'abri des dislocations qui résulteraient de son contact avec le sol où peuvent se trouver des corps durs. Au pont de l'Oued Endja, on avait, en outre, à se préoccuper particulièrement de la rencontre de gros blocs à arêtes plus ou moins vives; or, les tôles trop minces créent une surface extérieure irrégulière présentant des creux ou des bosses dans lesquels les blocs peuvent venir se loger et provoquer un déchirement des hausses et même un arrêt des caissons. Au Val-Saint-Léger, sur le chemin de fer de Grande-Ceinture de Paris, il arriva un accident de ce genre et, dans le mémoire qu'il a publié dans les *Annales* (1882, 2e semestre, p. 465), M. Geoffroy, qui dirigeait les travaux, estime qu'avec des terrains parsemés de gros blocs il est prudent de ne pas donner aux tôles extérieures une épaisseur moindre que 5 millimètres. Aussi, s'inspirant de cette expérience, le cahier des

charges du pont de l'Oued Endja spécifiait que les hausses seraient toutes de 5 millimètres.

5° **Peinture des fers.** — Les fers ont été recouverts d'une couche de peinture au minium de plomb à leur départ des ateliers (Ateliers de Montataire, à Creil, Oise).

La suppression de la peinture est souvent pratiquée, et nous sommes persuadé qu'il n'en résulte aucun inconvénient pour la conservation des fers. Une fois noyés dans la maçonnerie ou enfouis à quelques mètres sous l'eau, on peut considérer, en effet, que les fers ne craignent plus rien. C'est un fait dont M. Alby, Ingénieur des travaux du pont Alexandre III, s'est particulièrement rendu compte en démolissant les murs du quai de la Conférence : des clavettes en fer retirées du plancher en chêne de la fondation (par conséquent, non noyées dans la maçonnerie) étaient, au bout de quatre-vingts ans, absolument intactes, sans la moindre tache de rouille.

6° **Qualité des fers.** — Les tôles, larges plats, cornières, etc., employés dans la construction des caissons ont été éprouvés à la traction avant leur mise en œuvre ; ils ont donné une résistance minima de 32 kilogrammes par millimètre carré et un allongement minimum de 8 0/0 dans le sens du laminage(*).

Ordinairement, les cahiers des charges n'imposent pas de conditions spéciales pour la qualité des fers. Les résultats qui précèdent satisfont, à peu de chose près, aux conditions qui ont été insérées par M. Bricka dans le cahier des charges (art. 37) des ponts du Tonkin (*Journal officiel* du 8 mars 1896).

(*) Les fers ont été livrés par les forges de Montataire (Oise), de Vireux-Molhain (Ardennes) et de la Providence (Nord).

§ III. — Procédés d'exécution.

1° **Fonçages.** — Les procédés de fonçage employés reposent sur la considération de l'équation d'équilibre d'un caisson en train de descendre, laquelle est la suivante.

Soient :

P, le poids total du massif en marche (ossature métallique, maçonnerie, sas, cheminée, surcharges, etc...) ;
F, le frottement latéral contre le terrain traversé ;
Z, la pression effective de l'air comprimé dans la chambre de travail (c'est la sous-pression donnée par les manomètres);
S, la surface horizontale du caisson.

On a :

$$P^{kg} = (S^{mq} \times z^{atm} \times 10^{m},33 \times 1000^{kg}) + F^{kg}.$$

Si P devient plus grand que le second membre, le caisson descend. Si, à un moment donné, le caisson ne descend plus, il faut agir de façon soit à élever la valeur du premier membre, soit à abaisser celle du second; d'où deux systèmes généraux de descente.

On augmente P avec des surcharges en moellons, en gueuses de fonte, à l'aide de rails, de poutres sur lesquelles agissent des vérins ou des contrepoids, etc.

On réduit le second membre en réduisant z, mais surtout en supprimant brusquement z, c'est-à-dire en faisant des lâchures (ou lâchers) brusques de pression. En procédant de la sorte, on produit une rupture d'équilibre des matériaux liquides et solides qui frottent contre les parois métalliques du caisson et on donne lieu à une sorte de lubrification de celles-ci qui entraîne une diminution du frottement latéral.

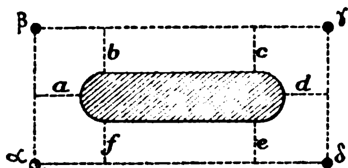
Au pont de l'Oued Endja, le frottement latéral et le coincement des blocs étaient tels que, dès les premiers

mètres d'encastrement dans lesol, le caisson ne descendait plus sous le seul poids des maçonneries. On recourut tout d'abord à des moellons déposés à la main sur un plancher qui débordait extérieurement le plus possible ; mais on n'obtint pas de résultat satisfaisant, et c'est, en définitive, du système des lâchures qu'on fit usage dans tout le cours des fonçages.

La descente des caissons au moyen de surcharges provisoires est, au surplus, onéreuse en ce sens qu'après un certain enfoncement on est obligé d'enlever les matériaux pour ajouter des hausses ou une virole de cheminée et maçonner ; tout cela constitue évidemment des manœuvres longues, pénibles et coûteuses.

L'usage des lâchures a réussi généralement, mais il a eu divers inconvénients : il a occasionné des déversements des caissons(*), ainsi que des déformations des chambres de travail. On conçoit aisément, en particulier, que ces déformations sont à craindre dans un pareil procédé ; l'air comprimé s'échappe brusquement, sans que l'eau pénètre instantanément dans la chambre de travail pour prendre sa place, et alors le caisson, dont le poids n'est

(*) Pour ce motif, on vérifiait fréquemment l'implantation de chaque caisson, d'autant plus que les tubistes ont tendance à corriger les déplacements du massif en poussant les tôles avec la maçonnerie (ce qui leur est surtout facile avec des tôles minces de 3 millimètres employées d'ordinaire).



On procédait ainsi : quatre pieux α, β, γ, δ, portant un clou sur la tête, étaient battus en dehors de la zone d'entraînement du sol. En tendant une corde entre deux pieux, on pouvait toujours, à l'aide d'une règle et d'un fil à plomb, mesurer les distances *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*.

plus équilibré par la sous-pression et le frottement latéral, a une fatigue considérable à supporter.

Dans la plupart des terrains, les redressements de caissons sont faciles, et les moyens à employer, très nombreux, varient avec les circonstances (DEGRAND, t. II, p. 227; *Génie civil*, 1er semestre 1888-1889, p. 234); au pont de l'Oued Endja, le coincement des blocs a rendu ces redressements très difficiles. Quant aux déformations des parois latérales de la chambre de travail, on n'arriva à les éviter complètement que lorsqu'en fin d'entreprise on donna une grande rigidité à ces parois.

Une lâchure s'exécutait dans les conditions suivantes. On faisait sortir tous les ouvriers du caisson et on refermait la porte d'entrée du sas, après y avoir ouvert rapidement le robinet d'arrivée de l'air comprimé. Lorsque la pression était la même dans la chambre de travail et dans le sas, on entendait de l'extérieur le tampon de la cheminée retomber; à ce moment, on arrêtait le compresseur, on donnait un coup de masse sur l'étrier de fermeture d'une des pipes à déblai (dont la porte intérieure était ouverte), et l'air comprimé s'échappait brusquement en produisant un bruit assourdissant.

L'eau rentrait alors précipitamment dans le caisson et, quelle que fût la profondeur atteinte par le couteau, elle mettait généralement cinq minutes pour arriver au niveau de l'eau extérieure, ce qui correspondait, aux grandes profondeurs, à un débit moyen d'environ 150 litres par seconde.

L'ébranlement produit dans le massif et la force d'expansion de l'air étaient tels que des précautions étaient nécessaires pour éviter des accidents de personnes. Les premières fois, des ouvriers étant restés sur la plate-forme du sas, deux d'entre eux, pris de frayeur, se sont précipités dans la rivière, où ils ne se sont fait aucun mal, il est vrai, mais où ils auraient pu se blesser; une autre fois,

la porte extérieure de la pipe à déblai projetée violemment par l'air cassa sa charnière et faillit blesser des ouvriers restés dans le voisinage. Aussi, ordinairement, le chef monteur de l'entreprise procédait lui-même à l'opération après avoir fait éloigner tous ses ouvriers.

Le fonçage a été exécuté par postes se relevant toutes les huit heures. Chaque poste comprenait généralement :

Dans la chambre de travail, pour extraction et charge des déblais	6 ouvriers(*)
Dans le sas, pour vider les bennes	2 —
Hors du sas, pour vider les pipes	2 —
— à la manœuvre du treuil	4 —
— à la reprise des déblais	1 —
TOTAL	15 ouvriers(**)

le tout, sous la surveillance d'un chef monteur responsable de la marche générale du fonçage. Les ouvriers étaient, en majeure partie, des indigènes de la région.

Les relèves de postes avaient lieu à onze heures du matin, sept heures du soir et trois heures du matin, et c'était généralement à onze heures du matin et sept heures du soir qu'on faisait les lâchures, lesquelles, par suite, étaient au nombre de deux par jour ; toutefois on ne faisait souvent qu'une lâchure, celle de onze heures, dans la journée.

Les descentes brusques ont été au maximum de $0^{m},40$ (pile 2) ; souvent les lâchures restaient sans effet et ce n'était qu'à la longue qu'on obtenait un résultat.

La fouille du terrain se faisait généralement à la pioche ; on dirigeait le déblai de façon à former tout d'abord une rigole d'assèchement sous le couteau, et on n'attaquait le

(*) Les 6 ouvriers se répartissaient comme suit : 1 ouvrier chef de poste ; 1 ouvrier au montage des bennes ; 4 ouvriers au déblai et au chargement des bennes.

(**) Le travail journalier de chaque ouvrier atteignait ainsi douze heures, car il n'y avait que deux postes en service.

milieu que lorsque cette rigole avait une assez grande profondeur. Les blocs (beaucoup dépassaient 1 mètre cube) étaient débités à la dynamite ; mais, comme les gaz d'explosion sont délétères, on ne procédait généralement à la mise du feu que lors des lâchures, de façon à renouveler l'air en même temps (*). Le dressement du schiste compact (parfois très incliné) sur lequel s'arrêtait le caisson se faisait soit à la dynamite, soit au burin.

L'éclairage de la chambre de travail a été obtenu au moyen de bougies. On sait qu'aujourd'hui on recourt généralement à l'éclairage électrique par lampes à incandescence, lesquelles ont l'avantage de supprimer tout échauffement et toute viciation de l'air ; les bougies ont, au contraire, l'inconvénient d'élever la température et de produire du noir de fumée qui se tient en suspension dans l'air, noircit les narines, le fond de la gorge et pénètre même jusque dans les poumons (**). Les bougies exigent, du reste, pour brûler, une certaine ventilation de la chambre de travail, parce qu'à une dose déterminée l'acide carbonique les éteint, alors que l'homme peut encore respirer (***). La nécessité du renouvellement de l'air a été particulièrement constatée aux piles 1 et 2, à un moment où la garniture du piston du compresseur était usée et aussi à un moment où les couches traversées étaient for-

---

(*) Les gaz de la dynamite sont, comme on le sait, composés en majeure partie d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et de vapeur d'eau. Quand on voulait descendre dans le caisson immédiatement après une explosion, les bougies s'éteignaient à peu de distance en contre-bas de l'arrivée de l'air comprimé dans le cône de la cheminée.

(**) A l'orifice des robinets d'échappement de l'air comprimé, on voyait généralement des dépôts abondants de noir de fumée.

(***) D'expériences faites par Leblanc et rapportées par Péclet dans son *Traité de la chaleur* (t. III, p. 28), il résulte ce qui suit : Lorsque l'air renferme 4 0/0 d'acide carbonique, les bougies s'éteignent, et la respiration devient gênée ; néanmoins, à cette dose, le travail est encore possible, pourvu que la température ne soit pas trop élevée : mais à 10 0/0 l'atmosphère devient irrespirable, et l'homme qui y pénétrerait s'exposerait à une asphyxie immédiate.

tement argileuses. On a remédié à la situation en changeant la garniture en mauvais état et en munissant l'orifice d'entrée de l'air comprimé dans le cône du sas d'un tuyau en toile qui descendait par la cheminée jusqu'au couteau; cette dernière disposition est à recommander, car elle a pour effet, en assurant un meilleur mélange de l'air frais et de l'air vicié, de réduire dans la chambre de travail l'influence proportionnelle de l'acide carbonique.

2° **Maçonneries.** — Toutes les maçonneries (maçonnerie ordinaire et béton) faites au-dessous de l'étiage et comptées à l'entrepreneur comme fondations à l'air comprimé étaient avec mortier comprenant 330 kilogrammes de chaux du Teil pour 1 mètre cube de sable (lavé) extrait des grèves de la rivière. Le béton avec lequel furent effectués le remplissage du poutrage du plafond, celui de la chambre de travail et celui du vide de la cheminée, était dosé à raison de 3 volumes de cailloux pour 2 volumes de mortier.

Les maçonneries ont été attaquées dans l'ordre ci-après :

Maçonnerie à l'air libre dans la chambre de travail. — Avant tout commencement du fonçage on remplissait en maçonnerie avec mortier de ciment Portland-Lafarge (400 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable) le vide triangulaire — dit crinoline — compris entre les parois verticales de la chambre de travail et les cornières inclinées des consoles :

1° En maçonnerie de briques par assises de largeurs croissantes en saillie les unes sur les autres jusqu'à mi-hauteur de la chambre de travail, c'est-à-dire jusqu'au niveau des banquettes de consoles ;

2° En maçonnerie de moellons bruts (grès dur) au-dessus.

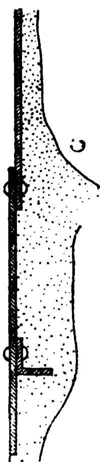
On avait soin, d'ailleurs, de placer des boutisses lon-

gitudinales pour relier entre elles, à travers les vides des consoles, les maçonneries de la crinoline et de laisser quelques moellons en saillie pour en assurer la liaison avec le béton de remplissage. Les moellons en contact avec les tôles des parois avaient enfin leur parement extérieur têtué.

Cette crinoline n'a pas été exécutée toutefois lors des premiers fonçages; mais son absence se fit vite sentir et on n'hésita pas à la faire dans les derniers appuis (piles 4 et 5 et culée rive gauche). Elle procure une grande rigidité à la chambre de travail et facilite le bourrage du béton à la fin du remplissage de cette dernière.

Béton à l'air libre entre les poutres du plafond. — Pour assurer une liaison entre l'ensemble du poutrage et du béton avec la maçonnerie supérieure, on noyait quelques moellons dans le béton et on les laissait saillir au-dessus des semelles supérieures des poutres.

Maçonnerie à l'air libre au-dessus du plafond. — On prenait la précaution de ne pas appuyer les moellons de parement (lesquels étaient têtués) contre les hausses et on garnissait de 2 centimètres de mortier l'intervalle compris entre les tôles et les moellons pour que les tôles, ayant à subir plus tard la pression de l'eau et du sol, pussent s'appuyer sur une surface unie et compressible et assurer ainsi un meilleur contact. Ce garnissage en mortier était, d'ailleurs, renforcé au droit des coutures, comme il est indiqué ci-contre, pour contribuer en ces points à réduire à travers la maçonnerie les suintements de l'eau extérieure dont la libre descente le long des parois intérieures était déjà chicanée par les cornières de raidissement.



On veillait aussi à ce que les tôles de hausses ne cèdent

pas sous la pression de la maçonnerie au fur et à mesure de son élévation, car, pour peu qu'un maçon poussât une tôle de hausse, on arrivait très vite à construire sans s'en douter un appui plus large en haut qu'en bas et dont la descente était, par conséquent, rendue plus difficile. C'est pourquoi on maintenait la largeur à chaque rang de hausses au moyen de petits tirants horizontaux démontables que l'on boulonnait sur les cornières horizontales de raidissement et que l'on évitait de laisser noyés dans la maçonnerie, car autrement on eût risqué d'aggraver la dislocation de celle-ci due à la pénétration d'un bloc dans les hausses (*).

On ménageait enfin autour de la cheminée un espace vide annulaire aussi réduit que possible pour en permettre le démontage. Le parement intérieur de la maçonnerie y était bien jointoyé au mortier et présentait quelques arrachements de manière à assurer une liaison parfaite avec le béton de remplissage et à empêcher, en cas de crue surmontant le caisson, les vases de s'infiltrer à travers les joints de la maçonnerie. Ce vide annulaire se remplissait toujours d'eau passant à travers les hausses.

Remplissage de la chambre de travail. — Ce remplissage a été fait en béton avec talus à redans de $0^m,40$ à $0^m,50$ de hauteur en partant de la périphérie et revenant à l'amorce de la cheminée; sous le plafond, on bourrait avec des bourroirs en bois taillés en biseau.

Ce remplissage était terminé quand le béton était nivelé sous l'amorce de cheminée, comme le montre le croquis (*fig.* 6). On procédait alors à un coulis de ciment liquide et au tamponnement hermétique de l'amorce de cheminée,

Le tableau ci-dessous indique les conditions principales dans lesquelles ces diverses opérations ont été faites.

(*) Le fait s'est produit dans une des fondations du viaduc du Blanc, à la traversée de la Creuse par les lignes de Civray et Poitiers au Blanc.

DÉSIGNATION DES APPUIS	REMPLISSAGE EN BÉTON			COULIS DE CIMENT — QUANTITÉ EMPLOYÉE			OBSERVATIONS
	Cubes	Nombre de sacs de chaux (50k) employés	Durée du remplissage	en totalité	par mèt. cub. de béton	par m² (du caisson)	
	mèt. cub.	unités	heures	kilog.	kilog.	kilog.	
Culée rive droite	28,73	70	56	765	26.6	52.3	Tampon en ciment. — La cheminée n'a pas pu être mise à sec avec deux pompes Letestu. L'eau qu'elle contenait a été épuisée en même temps que celle de la fouille du mur en retour amont. Le coulage du béton a donc pu être fait à sec.
Pile 1..................	40,21	94 (*)	39(**)	600	14.9	29.4	Tampon en ciment. — Deux pompes Letestu n'ont pas pu épuiser l'eau de la cheminée. Le béton a été coulé avec des bennes.
Pile 2..................	40,38	98	59.30	900	22.3	44.2	Tampon en bois. — L'eau du trou de la cheminée a été épuisée avec une pompe Letestu et le béton coulé à sec.
Pile 3..................	(****) 46,67	105	59.30	315	6.5	15.4	Tampon en bois. — L'eau du trou de cheminée a pu être épuisée avec des bidons et le béton coulé à sec.
Pile 4 (crinoline)........	26,86	66	34.30	150	5.6	7.3	Tampon en bois. — L'eau du trou de cheminée a pu être épuisée avec des bidons et une petite pompe Letestu et le béton coulé à sec.
Pile 5 (crinoline)........	26,86	66	34.30	200	7.4	6.8	Tampon en bois. — La vidange du trou de cheminée s'est faite au moyen d'une pompe Letestu et de seaux. Le béton a été coulé à sec.
Culée rive gauche (crinoline)	23,84	60	24 (***)	180	7.5	9.9	Tampon en bois. — Une pompe Letestu a pu épuiser l'eau du trou de cheminée jusqu'à sa limite d'aspiration. — Le béton a été coulé dans l'eau avec des bennes.

(*) On n'est pas absolument sûr de ce chiffre.

(**) Le remplissage n'a pas été opéré de la même façon qu'aux autres appuis. — On remplissait le sas de béton qu'on faisait ensuite tomber dans la chambre de travail; les hommes chargés de bourrage ne remontaient jamais. A la suite d'accidents, ce procédé fut trouvé dangereux pour les ouvriers qui se trouvaient dans la chambre de travail et on les fit remonter après l'emploi de chaque éclusée. C'est cette perte de temps qui explique la différence qui existe entre la durée du remplissage à la pile 1 et celle du remplissage aux autres appuis comparables (piles 2 et 3).

(***) Le remplissage a été fait au moyen du sas, système Hersent, qui possède une bétonnière perfectionnée.

(****) Ce cube est supérieur à celui des piles [illegible], arrivé sur le schiste, le caisson n'est plus descendu malgré des lâchures répétées; l'encas[illegible] périmétrique en planches lutées avec de l'argile.

[illegible] par l'économie de ciment

I. — Tout d'abord le béton fut fabriqué avec des pierres cassées à l'anneau de $0^m,06$; mais, bien que gras, il était d'une mise en place difficile. A la pierre cassée on substitua alors des galets de la rivière qui offraient les avantages suivants.

Leurs vides sont moindres que ceux de la pierre cassée : nous avons constaté, par des expériences directes, que les vides de ces galets représentent en moyenne 428 litres par mètre cube et ceux de la pierre cassée 468 litres. Par suite, à dosage volumétrique égal de cailloux et de mortier, les bétons de galets sont bien plus plastiques que ceux de pierres cassées; aussi sont-ils généralement préférés par tous les tubistes.

D'expériences directes auxquelles nous avons encore procédé il résulte, d'autre part, que les quantités de cailloux et de mortier entrant dans la composition d'un mètre cube de béton étaient, en moyenne, les suivantes :

	MORTIER	CAILLOUX	TOTAUX
Béton de pierres cassées.........	463^{lit}	694^{lit}	1.157^{lit}
Béton de galets ronds............	444	666	1.110

Par suite, il faut moins de chaux avec les galets qu'avec les pierres cassées ; les bétons faits avec les galets sont donc, toutes choses égales d'ailleurs, non seulement plus plastiques, mais encore plus économiques que les bétons de pierres cassées. On n'a fait usage de ceux-ci qu'à la culée rive droite.

Le bourrage final était particulièrement pénible, car le tubiste qui pouvait seul à ce moment être employé dans la chambre de travail était obligé de remonter dans le sas à chaque éclusée de béton, laquelle était alors forcément de faible volume.

La composition du chantier de bétonnage était la sui-
vante au début de chaque opération :

A la fabrication du mortier	2 homm
Au mesurage des galets	2 —
Au lavage des galets sur brouettes à claires-voies ..	2 —
A la fabrication du béton sur aire en planches jointives	2 —
Au chargement du béton en brouettes	2 —
Au transport du béton de l'aire en planches à la plate-forme du sas	2 —
A l'éclusage du béton	2 —
Au remplissage de la chambre de travail	5 —

Soit, en totalité, 14 hommes à l'extérieur et 5 homm à l'intérieur. L'Administration avait, en outre, un surv lant à la fabrication du béton et un autre dans la cham de travail.

Pendant les vingt-quatre premières heures, on e ployait généralement la majeure partie du béton ; ens la vitesse du remplissage diminuait très rapidement l'entrepreneur devait réduire progressivement son p sonnel.

D'après le tableau que nous donnons plus haut, la d du bétonnage a varié, suivant les caissons, entre vingt-qu et soixante heures.

II. — Un coulis de ciment complétait, avons-nous le remplissage des chambres de travail.

L'air comprimé provoque toujours, pour s'échapper, fissures à travers le béton : le fait est incontestable (*). lors, lorsqu'on cessait de souffler, l'eau envahissant petits conduits ainsi créés, il se produisait un tasse de la masse et le béton perdait forcément son con avec le plafond de la chambre de travail. Le rôle du c lis de ciment était de combler le vide ainsi formé ; co

(*) Jusqu'à la fin du remplissage, l'air passait sous le couteau et s'é pait en bouillonnements à travers l'eau extérieure.

il n'avait à se répandre qu'à peu de distance de la cheminée, il pouvait facilement atteindre toute la surface du plafond.

III. — L'obturation (ou le tamponnement) de l'amorce de cheminée, laquelle fait partie de l'ossature métallique du caisson, était réalisée dans les conditions suivantes (*fig.* 6).

La cheminée était remplie avec le coulis de ciment jusqu'à $0^m,10$ environ au-dessus du plafond, puis fermée au moyen d'un tampon en bois appliqué sur une chape en mortier de ciment (*). Ce tampon avait un diamètre légèrement moindre que celui de la cheminée et l'intervalle annulaire compris entre son parement périmétrique et la tôle était bouché au moyen d'une série de coins jointifs; il comprenait, d'ailleurs, une assise en madriers de $0^m,08$ d'épaisseur et une assise en planches disposées perpendiculairement aux madriers. Pour pouvoir introduire les bois — tendres et bien secs — malgré les saillies des cornières de joints, on faisait chaque assise en plusieurs morceaux à joints calfatés; enfin, à l'aide de petits étais buttant sous la cornière supérieure de l'amorce de cheminée, on calait fortement le tampon, puis on recouvrait celui-ci d'une chape en mortier de ciment et d'une couche de béton.

On maintenait la pression pendant quelques heures pour laisser au béton le temps de durcir, puis on la laissait tomber et on enlevait les tubes de la cheminée. Au bout d'un certain temps, quand, l'air ayant disparu, l'eau du fond arrivait à toucher la face inférieure du tampon, elle faisait gonfler le bois et augmentait encore l'étanchéité.

Nous devons dire toutefois qu'à la culée rive droite et à la pile 1 le tamponnement a été fait simplement avec

(*) L'emploi du tampon en bois est signalé par M. Alexandre dans son *Mémoire sur l'écluse du port de Dieppe* (*Annales*, 1887, 2e semestre, p. 572).

du mortier de ciment durci ; le résultat a été déplorable comme étanchéité.

Remplissage du trou de cheminée. — Le vide annulaire qui existe autour de la cheminée était, ainsi que nous l'avons déjà dit, toujours plein d'eau provenant de filtrations à travers les hausses et la maçonnerie avoisinante ; il y tombait, en outre, dans le cours du fonçage, malgré toutes les précautions possibles, des déblais, des pierres, du mortier, etc... Après avoir enlevé le sas et les tubes de la cheminée, il fallait donc procéder à l'épuisement et au nettoyage de ce vide ou trou de $1^m,50$ de diamètre environ.

En général, les filtrations n'étaient pas très abondantes, et l'épuisement du trou ainsi que son nettoyage pouvaient se faire à l'aide d'une pompe Letestu et de seaux ; on coulait ensuite du béton jusqu'au niveau supérieur des maçonneries (*).

Il est arrivé cependant à plusieurs appuis que la mise à sec du trou n'a pu être obtenue de façon parfaite, parce que, le tamponnement ayant été mal fait ou le coulis de ciment étant insuffisant, aux filtrations latérales venaient s'ajouter des filtrations abondantes sortant de l'amorce de cheminée. Le nettoyage s'est alors fait à l'aide d'une drague à main, et le coulage du béton au moyen d'une benne basculante (**).

Il est bien probable que les filtrations inférieures arrivaient le long des fers de la chambre de travail. L'adhérence du béton ou de la maçonnerie au fer n'est pas irréalisable ; mais, pour l'obtenir, encore faut-il prendre

---

(*) En général, vingt-quatre heures après, on voyait les eaux suinter peu à peu à travers les maçonneries supérieures de la caissonnée ; ces eaux avaient généralement la même origine que celles qui, dans le cours du fonçage, filtraient autour de la cheminée.

(**) Système analogue à celui qui a été employé à Saint-Malo par M. Mengin (*Annales*. 1883, 1er semestre, p. 19).

certaines précautions, nettoyer proprement les surfaces et les enduire de mortier préalablement à tout remplissage.

Malheureusement, au pont de l'Oued Endja, ces précautions n'ont pas été prises, car le béton a été appliqué contre les parois sans qu'au préalable les fers aient été nettoyés convenablement et enduits. Aussi est-il certain que la pellicule vaseuse et grasse, existant sur ces parois, a empêché toute adhérence du béton et des fers et que ceux-ci ont servi de conduites aux filtrations.

§ IV. — **Marche générale des travaux.**

La marche des travaux a été très irrégulière à cause de la nature du terrain traversé, des chaleurs, des dispositions insuffisantes primitivement adoptées pour les caissons, des crues de la rivière, etc... ; le pont qui devait d'ailleurs, au début des travaux, n'avoir que 200 mètres de long a dû, en cours d'exécution et par suite des érosions de la rive gauche, être allongé de 112 mètres.

Les fondations (du schiste compact au niveau de l'étiage) ont duré seize mois environ ; mais le temps qui leur a été effectivement consacré n'a pas dépassé deux cent cinquante jours.

La somme des profondeurs des diverses fondations au-dessous de l'étiage étant de $69^m,77$, il s'ensuit que le fonçage de 1 mètre a pris sept jours environ pour un travail effectif de trois jours et demi seulement.

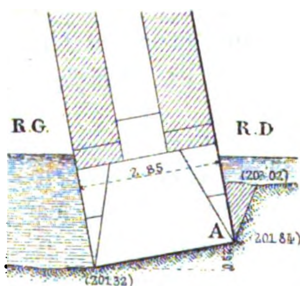
Le montage des caissons a généralement eu lieu dans le lit même de la rivière sur les emplacements à sec ; pour la pile 3 seulement, où l'emplacement était couvert par les eaux, le caisson a été monté sur échafaudage, puis échoué à l'aide du matériel dont M. Séjourné donne la description dans son mémoire de 1883 (p. 124).

Les observations les plus intéressantes auxquelles aient

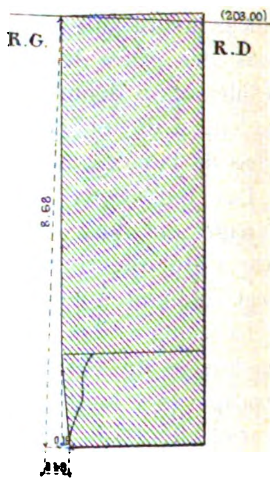
conduit les travaux résultent du rapprochement des faits suivants :

Culée rive droite et pile 1 (*consoles à simples cornières, — pas de crinoline, — hauteur de la chambre de travail égale à 2 mètres*). — La descente (6^m,76 à la culée et 9^m,36 à la pile 1) s'est effectuée sans accident. Il est vrai que la culée rive droite est l'appui où la fondation a été la moins profonde et qu'à la pile 1 on n'a presque pas rencontré de blocs.

Pile 2 (*consoles à simples cornières, — pas de crinoline, — hauteur de la chambre de travail égale à 2 mètres*). — Le caisson était déjà engagé dans le lit de



Position du caisson de la pile 2 après la crue du 20 décembre 1896 (coupe suivant l'axe du pont).



Déversement et déformation générale subie par la pile 2.

la rivière de 1^m,40 environ, lorsqu'il fut déversé par une crue le 20 décembre 1896, ainsi que l'indique la *fig.* ci-contre. On l'a parfaitement redressé en creusant sous la

paroi A sans toucher à celle d'en face ; sous l'effet de ce creusement, le terrain extérieur (triangle hachuré) s'éboulait au dedans et facilitait le redressement.

Ce caisson n'a, au reste, atteint le schiste compact que fortement déformé et déversé (Voir *fig.* ci contre) ; le couteau a voyagé horizontalement de près de $0^m,50$; la paroi verticale rive gauche, et surtout les contre-fiches inclinées des consoles correspondantes ont flambé sérieusement (flèche de $0^m,13$). Quand ces accidents se sont produits, le caisson avait encore à descendre de 1 mètre environ ; on dut consolider la chambre de travail au moyen de formes provisoires en bois de 15/15.

La descente totale a été de $8^m,68$.

Pile 3 (*consoles à simples cornières, — pas de crinoline, — hauteur de la chambre de travail égale à 2 mètres*). — Le caisson n'est arrivé à l'extrémité de sa course que déversé et déformé ; les parois de la chambre de travail ont éprouvé de sérieuses déformations et les contre-fiches des consoles ont flambé en grand. De même qu'à la pile 2, d'ailleurs, ces accidents se sont produits alors que le couteau n'était pas encore engagé dans le schiste compact ; il a fallu recourir à de nombreuses consolidations en charpente ; mais on conçoit combien, au milieu d'une telle forêt de bois, dans un caisson déjà étroit, le déblai et le remplissage en béton de la chambre de travail étaient difficiles.

La descente totale a été de $10^m,53$.

Pile 4 (*consoles à simples cornières, — crinoline, — hauteur de la chambre de travail abaissée à* $1^m,80$). — La descente ($10^m,42$) s'est faite sans incident.

Pile 5 (*consoles à doubles cornières, — crinoline, — hauteur de la chambre de travail abaissée à* $1^m,80$). —

La descente (11^{m},99) a également eu lieu sans le moindre incident.

Culée rive gauche primitive. — Ainsi que nous le disons plus haut, l'ouverture du pont avait été primitivement fixée à 200 mètres. Le caisson de culée rive gauche correspondant à cette ouverture était en montage sur une grève de la rivière lorsque survint la crue du 20 mai 1896; la chambre de travail venait d'être terminée, on avait même rivé le premier rang de hausses et, en prévision de la crue, surchargé le poutrage de 10 mètres cubes de moellons. La violence du courant fut telle que le caisson, qui pesait 8.500 kilogrammes environ, roula jusqu'à 100 mètres en aval comme une vulgaire boîte à pétrole mais en ne subissant comme dommages que quelques épaufrements de tôles.

On l'avait ramené à sa place première et on l'avait même muni de la cheminée et du sas lorsqu'une nouvelle crue survint le 20 décembre 1896. Cette fois, les affouillements le firent descendre en l'inclinant à 45° et de façon telle qu'il dut être abandonné (Voir *fig.* 1).

Culée rive gauche (*consoles à simples cornières, — crinoline, — hauteur de la chambre de travail abaissée à* 1^{m},80). — La descente a été de 11^{m},98. Une déchirure de hausses s'est produite à 2 mètres environ au-dessus du plafond; elle a occasionné un déversement du caisson et un ralentissement dans le fonçage.

Vitesses journalières des fonçages. — Nous résumons ci-dessous les vitesses journalières observées par journée de travail effectif; elles portent sur le temps réellement consacré au fonçage à l'air comprimé jusqu'à ce que le couteau ait été encastré de 0^{m},30 au moins dans le schiste compact.

DÉSIGNATION des appuis	DESCENTE moyenne par journée de travail effectif	OBSERVATIONS
Culée R. D.	0m,158	Schiste très incliné.
Pile 1.....	0 148	Défaut de maçons. — Accidents dans la soufflerie. — Manque de dynamite, etc.
Pile 2.....	0 268	Déversement du caisson et déformation de la chambre de travail.
Pile 3....	0 185	— d° —
Pile 4.....	0 440	Pas d'incident.
Pile 5.....	0 309	— d° —
Culée R. G.	0 187	Caisson déversé et déchirure de hausse.

CHAPITRE II.

LANÇAGE.

§ I. — Dispositions générales du tablier.

Description générale (*fig.* 17 et 20). — Le tablier est en fer ; il comprend deux poutres principales réunies à leur partie inférieure par des poutrelles sur lesquelles reposent des voûtelettes en briques supportant une chaussée bétonnée. Il mesure 314 mètres de longueur.

Chaque poutre principale, de 5m,36 de hauteur (h. c.), est à treillis quadruple et montants verticaux espacés de 5m,60 ; elle présente, en outre, des panneaux pleins à l'aplomb des appuis.

Le treillis est formé de fers profilés réalisant partout la section ⊥ ; les montants sont constitués par de petites poutres triangulées en plats et cornières.

Les poutrelles sont formées de poutres pleines en I ; elles sont espacées de 1m,40.

Deux trottoirs en tôle striée règnent de chaque côté de la chaussée.

Il y a deux contreventements : un inférieur formé de fers cornières disposés en croix de Saint-André, un supérieur formé d'entretoises et de croix de Saint-André. La hauteur libre au-dessus de l'axe de la chaussée, sous les entretoises supérieures, est de $4^m,25$.

Les six travées, qui sont solidaires entre elles, mesurent : les travées centrales, 55 mètres d'axe en axe des piles ; les travées de rive, $44^m,80$ de l'axe d'une pile au milieu de l'appareil d'appui sur culée.

La largeur du tablier est de $4^m,40$ d'axe en axe des poutres principales, et elle se subdivise en :

Chaussée....................	$2^m,50$
Trottoirs : 2 × 0,95 =	1 90
Total égal..........	$4^m,40$

Des gargouilles en fonte placées dans les longerons formant bordures de trottoirs assurent l'écoulement des eaux superficielles de la chaussée.

Sur chaque pile ou culée, le tablier repose par l'intermédiaire de deux appareils d'appui à rotule, un sous chaque poutre ; sur la pile 3, qui constitue l'appui fixe, les appareils d'appui ne comportent pas de chariot de dilatation, mais tous les autres en ont. La hauteur moyenne d'un appareil d'appui est de $0^m,60$.

Poids. — Le poids total du métal qui entre dans la constitution du tablier est de 483.453 kilogrammes, comprenant :

Fers de l'ossature métallique..............	464.090^k	
Fontes pour gargouilles sous trottoirs.....	188	
Total........................		464.278^k
Fontes, fers et plomb (appareils d'appui).............		19.175
Total égal..........................		483.453^k

Le poids par mètre courant d'ouverture libre entre culées ($312^m,00$) est, par suite, de $\frac{483.453}{312} = 1.550$ kilogrammes.

Les voûtes en briques et la chaussée correspondant à 2.400 kilogrammes par mètre courant de pont, la charge linéaire permanente du tablier est de 3.880 kilogrammes comprenant :

Partie métallique : $\frac{464.278}{314} =$	1.480^k
Chaussée et voûtelettes.....	2.400
TOTAL ÉGAL........	3.880 k.

Qualité des fers et des fontes. — Les fers sont de la qualité définie par l'article 3 du règlement de 1891.

Les fontes pour appareils d'appui ont été éprouvées au choc et à la traction.

Calculs de résistance. — Les calculs de résistance ont été faits conformément au règlement du 29 août 1891 ; on a seulement admis que les surcharges roulantes exceptionnelles, prévues par l'article 17, se réduisaient à celle qui comporte un essieu de 11 tonnes. D'autre part, la limite maxima du travail du métal a été portée à $8^{kg},500$ par millimètre carré dans les membrures et $5^{kg},500$ par millimètre carré dans les treillis des poutres principales.

Les calculs ont, d'ailleurs, été établis par la Société des Ponts et Travaux en fer et vérifiés par les Ingénieurs.

§ II. — Montage, lançage et épreuves du tablier.

Système général de mise en place. — Les fers ont été fournis par des forges du Nord de la France [Forges de Vireux-Molhain (Ardennes); — Forges de la Providence, à Hautmont (Nord) ; — G. Dumont et Cie, à Louvroil

(Nord); — Levent et Cie, à Bavay (Nord); — Harmant, Hicguet et Cie, à Hautmont (Nord); — Forges de Montataire (Oise)] et usinés aux Ateliers de Montataire, près Creil (Oise); les appareils d'appui et les gargouilles en fonte ont été livrés par la fonderie Martin, du Mans (Sarthe).

Embarqués à Rouen, les fers et les fontes étaient déposés quai Djidjelli ou quai Philippeville, puis gagnaient le chantier soit par charrettes exclusivement dans le premier cas (85 kilomètres), soit par chemin de fer (87 kilomètres) et charrettes (75 kilomètres) dans le second. Il s'est écoulé, en moyenne, un mois et demi entre leur sortie des ateliers de Montataire et leur arrivée à l'Oued Endja.

Le montage était fait sur rive gauche à l'aide d'une grue en bois roulant sur deux files de rails disposés latéralement au tablier.

La rivure du chantier a été faite à la main au moyen de forges volantes.

On a procédé au lançage par avancées successives. En général, on montait et rivait sur la berge rive gauche toute la longueur de tablier (poutres principales, poutrelles, longerons, entretoises supérieures et tôles striées des trottoirs) que la plate-forme disponible entre la pile 5 et le pied du coteau permettait d'exécuter (*), puis on lançait en deux fois jusqu'à un appui en maçonnerie. La première avancée comportait un porte-à-faux de 16 mètres environ, qui laissait de la place à l'arrière pour allonger le tablier; la deuxième avait lieu à l'achèvement de cet allongement en se servant d'une palée (**) en charpente, placée en avant de l'appui en maçonnerie que l'on devait atteindre.

(*) La longueur de la plate-forme était tout d'abord de 60 mètres environ; mais elle fut réduite un peu par les érosions de la rivière.

(**) Les palées ainsi construites en avant des appuis sont restées en place jusqu'à la fin du lançage.

Le porte-à-faux maximum ne dépassait par 25 mètres. Le poids moyen du tablier par mètre courant de poutre était de 714 kilogrammes dans le cours de ces lançages.

Le tablier roulait sur galets et son mouvement était obtenu par halage avec treuils et palans.

Dans ce qui suit, nous entrons successivement dans l'examen des détails de l'opération du lançage.

Galets de lançage (Voir *fig*. 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14). — La Société a employé quatre types différents de galets désignés par les lettres C, D, E et F ; les arbres de rotation sont en fer, les paliers et les galets proprement dits sont en fonte. Le tableau ci-dessous fait connaître, pour chacun d'eux, en le supposant neuf, son poids total, ainsi que la charge maxima pouvant lui être appliquée.

DÉSIGNATION des galets	POIDS			CHARGES maxima
C	Galet	157k	257k	44.160k
	Palier	100		
D	Galet	248	378	51.650
	Palier	130		
E	Galet et palier		90	16.500
F	Galet	329k	523	55.000
	Palier	194		

La charge maxima de chaque galet a été déterminée en considérant : 1° la résistance de son arbre de rotation ; 2° l'altération possible des surfaces en contact. Nous donnons aux *Annexes* le calcul de la charge d'un galet D, par exemple.

Toutefois les galets usagés dont la Société s'est servie présentaient une différence essentielle avec les galets neufs dont il est question ci-dessus, tout au moins pour ce qui regarde les galets à rainures C, D, F. Les deux

petites bandes latérales de 20 à 35 millimètres de largeur avaient, en effet, disparu, et le tablier en lançage ne reposait, par suite, que sur les bandes centrales de 60 à 70 millimètres de largeur. Quand on lance sur un galet à rainures, il suffit évidemment que celui-ci soit un peu déversé pour que toute la charge porte sur une des bandes latérales et occasionne un voilement de la plate-bande; aussi depuis longtemps les constructeurs n'utilisent-ils plus que des galets à une seule largeur, du type E, et c'est vraisemblablement là l'explication des abatages extérieurs subis par les vieux galets C, D et F. Dans ces conditions, si la charge maxima des galets E en usage sur le chantier a pu être maintenue au chiffre du tableau ci-dessus, celles des autres ont dû être abaissées :

Pour les galets C, à $\pi = 1 \times \overline{10}^6 \times 0{,}400 \times 0{,}0600 =$ 24.000^k
— D, à $\pi = 1 \times \overline{10}^6 \times 0{,}500 \times 0{,}0533 =$ 31.650
— F, à $\pi = 1 \times \overline{19}^6 \times 0{,}500 \times 0{,}0700 =$ 35.000

En général, du reste, les constructeurs n'utilisent guère couramment de galets chargés à plus de 30.000 kilogrammes (Voir *Génie civil*, 15 mai 1883 et 24 janvier 1885 : *Lançages des viaducs de Garabit et de la Tardes* ; — Voir aussi observation de M. Seyrig à la séance de la Société des Ingénieurs civils du 3 octobre 1884). Au viaduc de Cubzac, la maison Daydé et Pillé s'est exceptionnellement servie de galets supportant 60 tonnes chacun (Morandière, t. II, p. 1852), bien que l'application des formules de M. Résal limitât leur charge à 32.500 kilogrammes ; il est probable que l'altération des surfaces de roulement n'a été évitée que grâce à l'emploi de métaux de qualité supérieure.

La *fig.* 15 indique la disposition des galets de lançage sur une pile ; sur les palées il y avait également deux galets sous chaque poutre, mais plus espacés (Voir *fig.* 16 et 17).

Palées de lançage (Voir *fig.* 16 et 17). — Chaque palée était composée de quatre poteaux verticaux ayant 0,30/0,30 d'équarrissage réunis entre eux par des moises et des croix de Saint-André et s'appuyant sur le fond du lit de la rivière (à sec) par l'intermédiaire de semelles. Chacun des poteaux se trouvait dans l'axe d'une des poutres du tablier; les deux d'entre eux situés du côté de la rive droite s'arcboutaient, du reste, sur des contre-fiches destinées à résister au déversement des palées produit par le mouvement du tablier (*).

Il fallait, pour préparer les bois d'une palée et mettre celle-ci en place trois journées d'une équipe à trois hommes (1 charpentier et 2 aides).

Il entrait dans chaque palée environ 7 mètres cubes de bois et 40 kilogrammes de boulons.

Treuils et palans de lançage (Voir *fig.* 18 et 19). — On a utilisé jusqu'à trois treuils actionnés chacun par une manivelle mue à bras; nous donnons dans les *fig.* 18 et 19 la disposition de l'un d'eux.

Les coefficients de multiplication de ces treuils étaient de 100 pour deux d'entre eux et de 85 pour le troisième.

Les palans étaient équipés à six brins (câbles de chanvre) de longueurs suffisantes pour permettre sans reprise une avancée de 15 mètres environ du tablier. Leur résistance était prise sur un pieu accolé à une pile, et l'effort de renversement auquel celle-ci se trouvait alors soumise de ce fait était en partie équilibré par la résistance de la plate-forme du treuil.

Lançage. — Le mouvement de progression du tablier était déterminé surtout par les palans sur lesquels on

(*) Tout d'abord les palées reposaient sur des sous-palées indépendantes formées de pilotis de 0,30/0,30, fichés de 2m,50 à 3m,00; mais, plusieurs crues ayant emporté palées et sous-palées, la Société renonça à ces dernières.

agissait au moyen des treuils ; mais on aidait aussi au mouvement à l'aide de crics à crémaillère appliqués sur les poutrelles à l'arrière du tablier, notamment lors des démarrages et au moment où des semelles de renfort passaient sur des galets. On favorisait encore le mouvement en faisant le montage de façon à donner une légère pente (environ $0^m,002$ par mètre) au plan de roulement. Des cales de lançage de $0^m,30$ à $0^m,40$ de long rivées à demeure (*) assuraient enfin la montée des semelles de renfort sur les galets.

La *fig.* 20 donne une position du tablier dans le cours du dernier lançage partiel, c'est-à-dire dans le cours du lançage effectué de palée 1 à culée rive droite. On voit indiqués sur cette figure : 1° les divers galets employés (au nombre de 46) ; 2° les faux-montants en bois de sapin, au nombre de 18, placés en vue de permettre aux sections faibles du tablier de résister aux flexions locales. Le détail d'un de ces faux montants est donné *fig.* 21 et 22.

Voici quelques renseignements sur ce dernier lançage partiel qui eut lieu le 2 juillet 1898.

L'opération, commencée à quatre heures du matin, était terminée cinq heures et demie après, soit à neuf heures et demie du matin, et le tablier avait été avancé de $22^m,40$, soit d'environ 4 mètres à l'heure.

Les appareils de lançage comprenaient : trois treuils installés : le premier contre la pile 5, le deuxième contre la pile 3, le troisième contre la pile 2, et agissant tous sur des palans à six brins ; huit crics, dont six de 10 tonnes et deux de 6 tonnes.

(*) Ces cales fixes sont préférables aux cales mobiles maintenues à la main qu'on voit encore quelquefois employer sur certains chantiers; le maintien de ces cales mobiles est parfois dangereux et une négligence peut entraîner le renversement d'un galet et le gauchissement du tablier.

La main-d'œuvre comportait :

Aux crics	11	hommes
Au treuil pile 5 : pour les manivelles	4	—
— pour maintenir les câbles sur le tambour	1	—
Au treuil pile 3 : aux manivelles	6	—
— au câble	2	—
Au treuil pile 2 : aux manivelles	5	—
— au câble	1	—
A la surveillance des galets	5	—
Au total il y avait donc	32	hommes,

sans compter le chef monteur qui dirigeait l'opération.

Les constructeurs considèrent que l'effort de traction moyen à exercer pour le mouvement d'un tablier métallique roulant sur galets de lançage peut être fixé à 50 kilogrammes par tonne(*) ; le tablier pesant :

$$314 \times (2 \times 714) = 448^{T},392,$$

soit **450** tonnes, l'effort à exercer était donc de :

$$450^{T} \times 50^{k} = 22.500.$$

Or, en admettant qu'un homme qui agit sur une manivelle exerce moyennement un effort de 35 kilogrammes, l'effort théorique de tirage était :

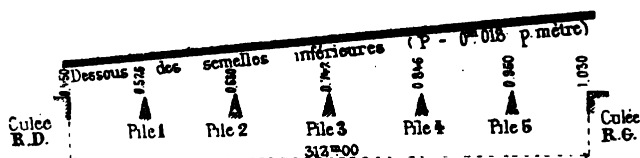
Treuils :	$6 \text{ brins} \times 100 \times 10^{m} \times 35^{k}$	$= 210.000^{k}$	299.250^{k}
—	$6 \text{ —} \times 85 \times 5 \times 35$	$= 89.250$	
Cric :	$6 \text{ —} \times 10.000$	$= 60.000$	72.000
	$6 \text{ —} \times 6.000$	$= 12.000$	
	Total		371.250^{k}

Le rendement du système de lançage a atteint à peine 7 0/0.

(*) D'après M. Nordling (*Ann. des Ponts et Chaussées*, 1870, p. 157), l'effort varie, par tonne, entre 42 kilogrammes pendant le mouvement et 55 kilogrammes au départ.

Le tablier est arrivé sur la rive droite avec un désaxement en plan de 0m,10 vers l'amont et un abaissement de l'avant dû au porte-à-faux (24m,50) de 0m,062 (*).

Descente du tablier sur ses appuis. — En atteignant la culée rive droite, le tablier se présentait, d'ailleurs, au-dessus des divers appuis (piles et culées) comme l'indique le croquis schématique ci-dessous.



En général, pendant les périodes de montage, tant pour éviter un accident en cas de saute de vent que pour réduire la fatigue du métal, le tablier reposait sur des calages disposés à l'avance près des galets (Voir (*fig.* 15)(**). Mais, à l'approche des grandes chaleurs (mois de mai), la différence de température entre le jour et la nuit devint telle que les membrures supérieures prenaient une cambrure très accentuée et que pendant la

(*) En appliquant la formule de M. Résal (t. II, p. 153) :

$$f = \frac{p}{24EI}\left[- l^3 - 2l\lambda^3 (2 + \beta_{m-1}) + 3\lambda^4\right]$$

dans laquelle :

$$p = 714, \quad l = 19{,}00, \quad \lambda = 24{,}50, \quad \beta_{m-1} = 0.25$$

on trouve :

$$f = \frac{1}{EI} \times 245.986.566,$$

c'est-à-dire, en adoptant

$$E = 1.60 \times \overline{10}^{10}, \qquad I_{net} = 171.089 \times \frac{1}{10^6} \text{ (section courante)},$$

$$f = \frac{1}{187.342 \times \overline{10}^4} \times 245.986.566$$
$$= \underline{\underline{0^m,1313.}}$$

(**) Au frottement de fer sur fer (0m,19), on substitue ainsi le frottement plus énergique de fer sur bois (0m,60).

nuit on entendait très nettement des craquements occasionnés par le jeu des assemblages ; les piles étaient, de ce fait, très vraisemblablement exposées à des efforts de renversement plus ou moins considérables. Aussi, dès le mois de mai, le tablier fut-il laissé constamment sur galets (*), et tout craquement nocturne disparut.

La descente d'un tablier sur ses appareils d'appui se fait d'ordinaire de proche en proche en enlevant successivement les calages sur lesquels on a eu soin de le faire reposer partout. Dans l'espèce, on dut d'abord enlever les galets de lançage, puis les remplacer par des calages ; mais alors, pour assurer le libre jeu de la dilatation, on interposa sous les poutres de petits fers ronds de 40 millimètres.

Les descentes ou montées successives du tablier ont été de $0^m,08$ environ chacune (l'épaisseur d'un madrier) ; elles étaient obtenues à l'aide des vérins hydrauliques ayant servi préalablement au retrait des galets de lançage.

C'est dans les sections d'appui que la dénivellation des appuis fatigue le plus le métal. En utilisant les formules données par M. Résal (t. II, p. 133-191 et suivantes), nous avons pu dresser le tableau ci-dessous, qui donne pour le déplacement vertical y d'un appui quelconque le travail maximum T_k qui se produit alors dans les diverses sections d'appui (**).

(*) Un renversement du tablier par rotation sous l'action du vent n'était pas à craindre, mais un renversement par glissement devenait possible avec un vent de n kilogrammes par mètre carré tel que

$$\frac{(\text{surface au vent})^2 \times n}{2 \times 714} = 0,19,$$

c'est-à-dire telle que $n = 90$ kilogrammes. Heureusement un vent de cette puissance est rare dans la région.

(**) Page 189 : y doit être affecté du signe $-$ quand il s'agit d'une descente, et du signe $+$ quand il s'agit d'une montée.

Page 191 : Lorsque T_k est positif, cela signifie que la plate-bande supérieure travaille à la compression, et la plate-bande inferieure à l'extension ; c'est l'inverse lorsque T_k est négatif.

DÉSIGNATION des appuis	VALEURS DU RAPPORT $\frac{T_k}{3Ehy} L^2$ POUR UN DÉPLACEMENT y DE						
	La culée rive droite	la pile 1	la pile 2	la pile 3	la pile 4	la pile 5	La culé[illegible] rive ga[illegible]
Culée R. D.	0	0	0	0	0	0	0
Pile 1..........	+ 0.37514	— 0.59484	+ 0.48251	— 0.12934	+ 0.03474	— 0.00855	+ [illegible]
— 2..........	— 0.10052	+ 0.42734	— 0.73701	+ 0.46560	— 0.12507	+ 0.03077	— [illegible]
— 3..........	+ 0.02694	— 0.11453	+ 0.46552	— 0.73305	+ 0.46552	— 0.11453	+ [illegible]
— 4..........	— 0.00728	+ 0.03077	— 0.12507	+ 0.46560	— 0.73701	+ 0.42734	— [illegible]
— 5..........	+ 0.00202	— 0.00855	+ 0.03474	— 0.12934	+ 0.48251	— 0.59484	+ [illegible]
Culée R. G......	0	0	0	0	0	0	0

NOTA. — L représente la longueur des travées centrales : L = 56m,00.
h représente la hauteur de la poutre (h. c.) = 5,36.

L'examen de ce tableau montre bien qu'il y a avantage pour réduire la fatigue du tablier à procéder, comme nous le disons plus haut, de proche en proche à la dénivellation des appuis et non en suivant un ordre quelconque. C'est, du reste, sur la pile 2 que se réalise le travail maximum ; pour un déplacement y de 0m,08, il est très faible, car sa valeur est (en supposant l'origine des descentes à la culée R. D.) :

$$T_k = 0{,}41019 \times \frac{3Eh}{L^2}\, y$$

$$= 0{,}41019 \times \frac{3 \times (1{,}60 \times \overline{10}^{10}) \times 5{,}36}{\overline{56}^2} \times 0^m{,}08$$

$$= 0{,}41019 \times 82 \times \overline{10}^6 \times 0^m{,}08$$

$$= 2^k{,}6 \times \overline{10}^6,$$

soit de $2^{kg}{,}6$ par millimètre carré.

Épreuves. — Lorsque le pont a été descendu sur ses appuis, il a été livré aux peintres et aux maçons.

Les fers étaient partis de l'usine recouverts d'une première couche de minium ; on leur a appliqué, après leur mise en place, une seconde couche de minium et deux couches de peinture grise à la céruse.

Les maçons ont attaqué les voûtelettes en briques et le

bétonnage de la chaussée dès que la deuxième couche de minium a été achevée.

Ces ouvrages terminés, on a entrepris les épreuves du tablier conformément aux prescriptions du règlement du 29 août 1891. Les flèches observées ont toutes été très faibles; mais, étant donnée la rigidité que procurent d'ordinaire les voûtes en briques, il semble qu'on aurait dû constater des flèches encore plus faibles. Si l'on considère les flèches prises par le milieu de la troisième travée dans l'épreuve par poids mort, on trouve en effet :

	FLÈCHES	
	observées	calculées (*)
	mm.	mm.
La moitié de la 3ᵉ travée seule chargée....	11,5	9,0
La 3ᵉ travée seule chargée................	20,5	22,0
La 3ᵉ travée et la 4ᵉ travée seules chargées.	11,0	13,0

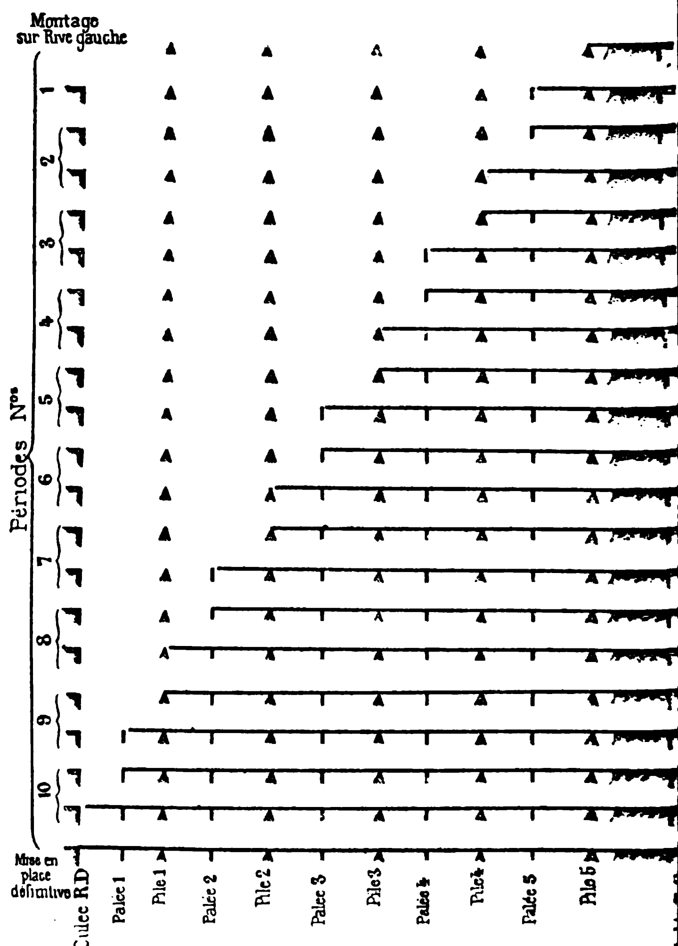
(*) Ces flèches ont été déterminées par la méthode que nous avons indiquée dans les *Annales* de 1894 (1ᵉʳ sem., p. 818), en supposant :
$E = 1,60 \times 10^6$, $I = 0,140.608$.

En général, non seulement les premières sont inférieures aux secondes, mais encore en diffèrent sensiblement (Voir notamment les résultats cités par M. Marin : *Annales*, 1872, 1ᵉʳ semestre, p. 108); il est probable que, ainsi que nous le ferons ressortir plus loin, le métal a subi une fatigue excessive au cours des lançages.

§ III. — Détermination du travail du métal dans le cours du lançage.

Exposé. — Les ouvrages techniques renferment, en général, peu de renseignements sur les lançages de tabliers métalliques; aussi nous a-t-il paru intéressant de consi-

gner ici les calculs auxquels a donné lieu la détermination du travail du métal pendant le lançage. Ce qui va suivre est extrait en grande partie des notes échangées



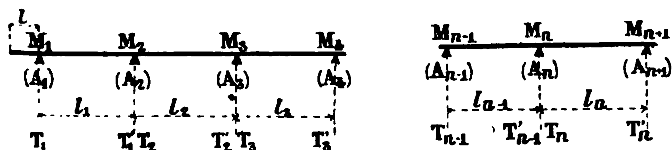
avec la Société des Ponts et Travaux en fer, laque[lle] était tenue par son contrat de fournir tous les calculs [de] résistance demandés par les Ingénieurs. Il va de soi. [...]

reste, que dans des calculs du genre de ceux dont il s'agit — lesquels s'appliquent, en somme, à des poutres en situations provisoires, passagères, mais assez mal définies théoriquement — il ne saurait être question d'une exactitude comparable à celle qui est apportée dans les calculs de résistance des tabliers en service.

Les différentes périodes du lançage sont résumées dans le schéma ci-dessns qui donne, au commencement (l'avant du tablier sur un appui) et à la fin (l'avant du tablier en porte-à-faux maximum) de chaque période, la position du tablier.

Il y a à distinguer la flexion d'ensemble résultant du poids propre du tablier et la flexion locale due à la réaction des galets.

Flexion d'ensemble — Soit ci-après une des poutres principales du tablier.



Elle repose sur des appuis (piles ou palées) A_1, A_2, A_3, A_4, ..., A_{n-1}, A_n, A_{n+1}, et déborde sur l'appui A_1.

Supposons que l'on connaisse, pour chaque période de lançage, les moments fléchissants M_1, M_2, ..., M_{n+1}, et les efforts tranchants $T_1T'_1$, T_2T_2', ... $T_nT'_n$, qui se produisent sur les appuis au commencement et à la fin de cette période ; il suffira de porter ces valeurs en ordonnées au droit de la poutre pour obtenir deux séries de points qui permettront, l'une, de tracer une ligne enveloppe des moments M, l'autre de tracer des lignes enveloppes des efforts T,T'. Ces enveloppes donneront, pour un point quelconque de la poutre, le moment fléchissant maximum M

et les efforts tranchants maxima T,T′, réalisés dans le cours du lançage.

Les moments sur appuis se calculent au moyen des formules de Clapeyron que nous rappelons ci-dessous :

$$l_1 M_1 + 2(l_1 + l_2) M_2 + l_2 M_3 = -\frac{1}{4}(p_1 l_1^3 + p_2 l_2^3)$$

$$l_2 M_2 + 2(l_2 + l_3) M_3 + l_3 M_4 = -\frac{1}{4}(p_2 l_2^3 + p_3 l_3^3)$$

. . . .

$$l_{n-2} M_{n-2} + 2(l_{n-2} + l_{n-1}) M_{n-1} + l_{n-1} M_n = -\frac{1}{4}(p_{n-2} l_{n-2}^3 + p_{n-1} l_{n-1}^3)$$

$$l_{n-1} M_{n-1} + 2(l_{n-1} + l_n) M_n + l_n M_{n+1} = -\frac{1}{4}(p_{n-1} l_{n-1}^3 + p_n l_n^3)$$

formules dans lesquelles :

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = (p = 714 \text{ kilogrammes}).$$

De même, les efforts tranchants sur appuis se déduisent des formules de Clapeyron suivantes :

$$T_1 = \frac{1}{2} p l_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_1}$$

$$-T'_1 = \frac{1}{2} p l_1 - \frac{M_2 - M_1}{l_1}$$

$$T_2 = \frac{1}{2} p l_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_2}$$

$$-T'_2 = \frac{1}{2} p l_2 - \frac{M_3 - M_2}{l_2}$$

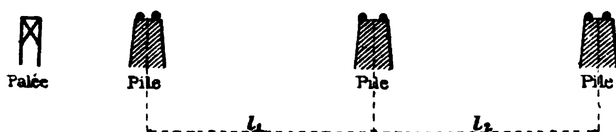
. . . .

$$T_n = \frac{1}{2} p l_n + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_n}$$

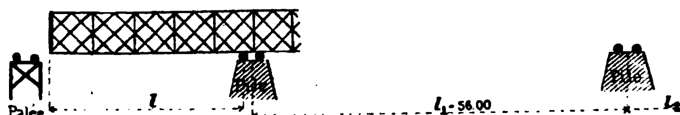
$$-T'_n = \frac{1}{2} p l_n - \frac{M_{n+1} - M_n}{l_n}$$

Les portées admises dans les calculs demandent à être précisées d'une façon particulière en raison de la nature des supports de la poutre.

1° *Lançage partiel de pile à palée.* — Au commencement du lançage, les portées sont définies comme l'indique la figure ci-dessous.

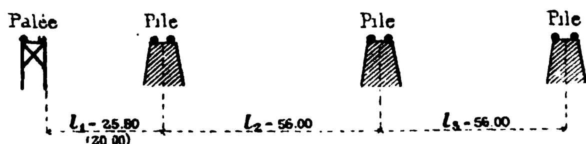


A la fin, on admet que le porte-à-faux maximum est celui qui résulte de la dernière position de la poutre plaçant le galet de gauche de la pile dans l'intervalle de deux attaches du treillis (Voir la figure ci-dessous). $l = 24^m,075$



dans la deuxième, la troisième, la quatrième et la cinquième travée; et $l = 18^m,475$ dans la première travée. On néglige l'intervalle entre l et l_1.

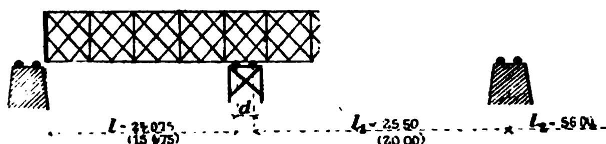
2° *Lançage partiel de palée à pile* (*ou culée*). — Au commencement, les poutres sont définies comme il ressort de la figure ci-dessous.



A la fin, on procède comme précédemment et on adopte les portées définies par la figure ci-dessous (p. 42).

Dans le but de ne pas compliquer outre mesure les calculs, on néglige l'intervalle $d = 5$ mètres ; autrement dit, on suppose que les deux galets de la palée se fondent en

un seul appui, le galet de droite, et on fait abstraction d'une longueur *d* de la poutre dans le calcul de la flexion d'ensemble.



Il convient de noter, d'autre part, que $M_{n+1} = 0$, car il correspond à la pile 5, et que $M_1 = -\frac{1}{2}pl^2$.

On remarquera enfin que, dans les calculs précédents de la flexion d'ensemble, il n'est pas attribué aux palées en charpente un rôle absolument identique à celui qui est rempli par les piles en maçonnerie. Les palées ne constituent pas, en effet, comme les piles, des appuis fixes, invariables, incapables de tasser ou de varier ; elles sont, au contraire, par leur nature susceptibles d'un jeu plus ou moins important ; elles obéissent plus ou moins au mouvement d'entraînement du tablier et elles peuvent être entraînées par une crue. Aussi, si l'on doit considérer que la travée en porte-à-faux *s'appuie* sur la palée d'avant à un moment donné, il ne convient pas d'admettre que les autres travées *s'appuient* sur les palées d'arrière (*) ; l'hypothèse dans laquelle chaque poutre serait censée reposer à la fois sur les piles et toutes les palées intermédiaires conduit à une évaluation du travail du métal d'autant plus erronée que ce travail subirait ainsi une réduction due à l'accroissement du nombre des appuis, alors qu'en réalité c'est plutôt une augmentation qui serait à craindre du fait de la dénivellation des palées.

(*) On rappelle, en effet, qu'on laissait en place les palées successivement construites (Voir observation, p. 31).

Flexion locale. — Quand on aborde l'étude de la flexion locale, deux points sont à élucider tout d'abord :

1° Sur un appui déterminé, comment se répartit la réaction de cet appui entre les galets?

2° En vue de l'application des formules de la résistance des matériaux, à quel type de solide prismatique assimiler la membrure basse de la poutre?

Lorsque le lançage est effectué à l'aide de galets montés sur balancier, ainsi que cela se pratique généralement maintenant, il n'est pas douteux que la réaction de l'appui se répartit également entre les galets ; mais avec des galets indépendants, tels que ceux employés à l'Oued Endja, la répartition uniforme n'est réellement admissible que lorsque les sections du tablier à l'aplomb desdits galets sont identiques. Il est évident, en effet, que dans le cas de galets indépendants un des galets prend toute la charge au passage sur l'appui d'une semelle de renfort. (Voir la *fig.* ci-contre). On ne peut pas soutenir que l'élasticité des calages en bois a pour effet de maintenir les galets appliqués sur les plates-bandes, car il nous a été permis de constater que le galet le plus voisin de la semelle de renfort prend rapidement toute la charge dès qu'il est atteint par la pointe de la cale de lançage. — Néanmoins, pour des calculs approximatifs, l'hypothèse de la répartition uniforme a été admise en raison de ce que la répartition inégale a une durée très courte comparativement à celle de la répartition égale.



L'hypothèse la plus rationnelle qui puisse être faite sur la membrure basse est celle qui consiste à la considérer comme une poutre continue dont les appuis seraient les points d'attache inférieurs de la triangulation et dont les travées, en nombre indéfini, seraient toutes égales entre elles ($L = 2^m,80$). Cette manière de voir est celle de

nombreux Ingénieurs ; elle est adoptée par M. Maurice Kœchlin dans ses *Applications de la statique graphique* (p. 388). Autrement dit, si un tronçon AB de membrure se dévie de sa position sous l'influence de la flexion locale, son prolongement BC est libre d'obéir à la courbure ainsi donnée et se dévie en sens inverse ; les attaches de treillis ne sont pas assez rigides, en général, pour empêcher ce mouvement d'une manière absolue.



Les tables données par MM. Adrien Cart et Léon Portes pour le calcul des lignes d'influences (p. 63 et 190) permettent dès lors de déterminer aisément le moment fléchissant et l'effort tranchant dans une travée quelconque (de longueur L) d'une poutre ainsi définie. En général, on n'envisage la flexion locale que dans les sections milieu $\overline{mm}$ (Voir *infra*) ; on trouve alors, par exemple, pour le moment fléchissant maximum :

Avec un seul galet chargé de π kilogrammes :

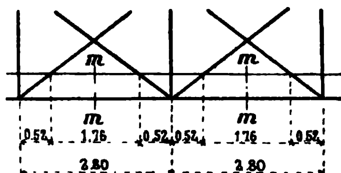
$$\mu = 0{,}171053\pi L ;$$

Avec deux galets distants de 1 mètre et chargés chacun de π kilogrammes ($L = 2^{m},80$) :

$$\mu = 0{,}171053\pi L + 0{,}020000\pi L = 0{,}191053\pi L.$$

En fait, la plupart des constructeurs déterminent la flexion locale en se basant sur une hypothèse beaucoup plus favorable au point de vue des calculs. Ils admettent que la membrure basse est assimilable à une suite de poutres encastrées et, pour tenir compte du raidissement occasionné par les attaches de la triangulation, raidissement que néglige implicitement l'hypothèse de la poutre continue, ils distinguent deux étages dans la membrure basse ; quand on considère les fibres inférieures de

la membrure, les poutres encastrées sont toutes de longueur $L = 2^{m},80$ et, quand on considère les fibres supérieures, les poutres ont respectivement les longueurs $L = 1^{m},76$, $0^{m},52$, $0^{m},52$, $1^{m},76$... (Voir *fig.* ci-contre). L'encastrement n'est cependant, en vérité, admissible que si les barres de la triangulation ont des moments d'inertie sensiblement supérieurs à celui de la membrure, ce qui, nous le répétons, n'est pas le cas général.



A l'aide des tables de MM. Cart et Portes on peut aussi tracer la ligne d'influence d'une poutre encastrée (de longueur L) relative à sa section milieu. On trouve alors pour le moment maximum :

Avec un seul galet :

$$\mu = 0,125000\pi L;$$

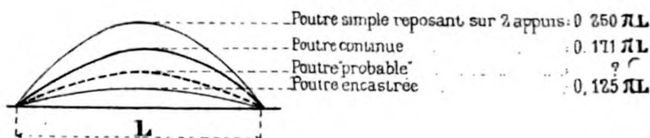
Avec les deux galets disposés comme ci-dessus :

$$\mu = 0,125000\pi L + 0,012500\pi L = 0,137500\pi L.$$

L'hypothèse d'un second galet a donc, comme dans l'hypothèse précédente, une influence très faible ; aussi, dans les calculs, il suffit de prendre $\mu = 0,171\pi L$, ou $\mu = 0,125\pi L$.

On voit, en définitive, que l'hypothèse des poutres encastrées a pour effet de réduire d'un tiers environ, à longueurs L égales, le moment μ déduit de l'hypothèse de la poutre continue ; vraisemblablement, celle-ci conduit à des résultats devant être considérés comme des maxima, et celle-là, au contraire, à des résultats trop faibles. Le schéma de la figure ci-après résume ces diverses considérations.

Dans ce qui va suivre nous procéderons en adoptant l'hypothèse des poutres encastrées.

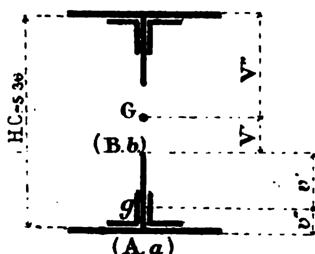


Pour calculer la flexion locale, on procède, d'ailleurs, comme pour la flexion d'ensemble. Supposons que l'on connaisse, pour les diverses périodes de lançage, les moments μ_1 et μ_2 des sections milieu *mm* au droit des appuis ; il suffira de porter en ordonnées les valeurs de μ_1 et μ_2 pour obtenir deux enveloppes de moments qui donneront, pour une section quelconque, les moments maxima μ' et μ'' réalisés dans le cours du lançage.

La détermination de μ_1 et μ_2 se fait en remplissant un tableau dont extrait ci-dessous.

DÉSIGNATION des appuis	MOMENTS sur appuis M	EFFORTS TRANCHANTS sur l'appui de gauche T'_{k-1}	sur l'appui de droite T'_k	CHARGE due à la portée entre galets de palée : $P = 5^m,00 \times 714^k$	RÉACTION totale sur l'appui $Q = T'_k - T'_{k-1} + P$	CHARGE sur galet π	MOMENTS DANS LA MEMBRURE [illegible] pour les fibres supérieures $\mu_1 = \frac{1}{8}\pi \times 1.76$	pour les fibres supérieures $\mu_2 = \frac{1}{8}\pi \times$ [illegible]
....	....	....	....	....	....	....	....	....
SEPTIÈME PÉRIODE (de pile 2 à palée 2)								
Première position : $l = 0$, $l_1 = 56.00$, $l_2 = 56.00$, $l_3 = 56.00$								
Pile 2......	»	»	»	»	»	»	»	»
— 3......	— 223.910	— 21.991	21.991	0	43.982	21.991	4.838	7.6[illegible]
— 4......	— 223.910	— 21.991	21.991	0	43.982	21.991	4.838	7.6[illegible]
— 5......	0	— 15.794	0	0	15.994	15.994	3.519	5.5[illegible]
Deuxième position : $l = 24.075$, $l_1 = 56.00$, $l_2 = 56.00$, $l_3 = 56.00$								
Palée 2....	»	»	»	»	»	»	»	»
— 2....	— 206.919	— 17.190	21.059	0	38.249	19.125	4.230	6.6[illegible]
— 3....	— 147.140	— 18.925	18.838	0	37.763	18.882	4.154	6.6[illegible]
— 4....	— 211.802	— 21.146	23.774	0	44.920	22.460	4.341	7.8[illegible]
— 5....	0	— 16.210	0	0	16.210	16.210	3.566	5.6[illegible]
HUITIÈME PÉRIODE (de palée 2 à pile 1)								
....	....	....	....	....	....	....	....	....

Travail du métal dans les membrures. — Soit ci-dessous



une section quelconque du tablier dont on suppose déterminés les éléments principaux.

	Modules de résistance (section nette)
Ensemble des 2 membrures I_{net} :	fibres supérieures (B) : $\frac{I}{V'}$
	fibres inférieures (A) : $\frac{I}{V''}$
Membrure basse seule i_{net} :	fibres supérieures (b) : $\frac{i}{v'}$
	fibres inférieures (a) : $\frac{i}{v''}$

Le travail du métal dans la membrure basse est donné par les formules suivantes :

Dans la fibre supérieure (B. b.) : $R' = \dfrac{M}{\frac{I}{V'}} - \dfrac{\mu'}{\frac{i}{v'}}$

Dans la fibre inférieure (A. a.) : $R'' = \dfrac{M}{\frac{I}{V''}} + \dfrac{\mu''}{\frac{i}{v''}}$

Le travail maximum du métal dans la membrure haute a pour valeur $\dfrac{M}{\frac{I}{V''}}$; il est donc toujours inférieur au travail R″, et il n'y a pas lieu, par suite, de se préoccuper de la membrure haute.

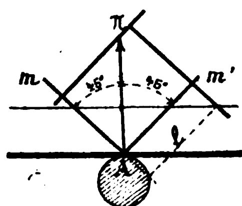
On connait déjà, par des calculs ou épures antérieurs, pour les diverses sections de la poutre, les moments M,

μ', μ'' ; supposons que l'on connaisse aussi, pour ces mêmes sections, $\frac{I}{V'}$, $\frac{I}{V''}$, $\frac{i}{v'}$ et $\frac{i}{v''}$. On déterminera alors, pour toutes les sections que l'on choisira, les valeurs R' et R'', et il sera facile ensuite de tracer deux enveloppes de ces coefficients.

Dans ce but, on trouvera avantage à disposer les calculs sous forme d'un tableau tel que le suivant.

DÉSIGNATION des sections	MOMENTS sur appuis M	FIBRES SUPÉRIEURES (b)				FIBRES INFÉRIEURES (c)		
		Moments fléchissants μ'	TRAVAIL PAR MILLIMÈTRE CARRÉ DE SECTION NETTE			Moments fléchissants μ''	TRAVAIL PAR MILLIMÈTRE CARRÉ DE SECTION NETTE	
			$\frac{M}{\left(\frac{I}{V'}\right)}$	$\frac{\mu'}{\left(\frac{i}{v'}\right)}$	R'		$\frac{M}{\left(\frac{I}{V''}\right)}$	$\frac{\mu''}{\left(\frac{i}{v''}\right)}$
....	....	....	....	....	....	....	....	....
c	235.686	5.099	4.58	13.63	9.05	8.112	5.41	[illegible]
d	244.130	5.192	4.75	13.88	9.13	8.260	5.61	[illegible]
e	211.802	4.942	4.12	13.21	9.09	7.861	4.86	[illegible]
....	....	....	....	....	....	....	....	....

Travail du métal dans la triangulation. — π désignant la réaction transmise à la membrure basse par un galet, l'effort total F auquel sont soumises les barres de la triangulation correspondant à une même attache est donné par la formule $F = 2\pi \cos 45$



Par suite, le travail du métal dans les barres considérées A*m* et A*m'* a pour valeur moyenne $R''' = \frac{F}{\Omega}$; en posant :

$$\Omega = \Sigma\omega' = \Sigma \frac{\omega}{1 + \left(\frac{1}{20.000} \times \frac{l^2}{r^2}\right)} \ (^*),$$

(*) Application de la formule du flambage donnée par M. Résal, qu[and] on suppose une extrémité encastrée ($\varepsilon^2 = 2$).

formule dans laquelle :

- ω représente la section nette d'une barre ;
- l, la longueur utile d'une barre : $l = 1^{m},20$;
- r, le rayon de giration minimum de la section ω.

Avec les données des tableaux établis à l'occasion de la flexion locale, il est possible de calculer les diverses valeurs de F_1, F_2,..., et, par suite, de tracer une enveloppe des F maxima. A l'aide de cette enveloppe, il est ensuite facile, en considérant le milieu de chaque panneau de poutre principale, de calculer le coefficient de travail maximum R''' qui se réalise moyennement dans les barres, puis de tracer une enveloppe de ces coefficients R'''.

On condensera, d'ailleurs, les résultats sous forme d'un tableau comme le suivant.

…ros …s …eaux	EFFORTS dans les treillis F	SECTIONS DES TREILLIS: Croquis	Échantillons	Sections nettes ω	r^2	$\omega' = \frac{\omega}{1+\frac{1}{20.000}\cdot\frac{l^2}{r^2}}$	$\Omega = \Sigma\omega'$	TRAVAIL par millimèt. carré $R''' = \frac{F}{\Omega}$
				mm²		mm²	mm²	
1	19.000	20	2 cornières de $\frac{90 \times 90}{11}$	3.278	0.000760	3.000	5.200	$3^{k},65$
		18	2 cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$	2.640	0.000600	2.200		
2	14.000	18	2 cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$	2.150	0.000617	1.927	3.351	$4^{k},18$
		18	2 cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$	1.638	0.000470	1.424		
......	......	......	......	......	......	......	......	......
48	22.585	23	1 plat de 115 × 10 / 2 cornières de $\frac{100 \times 100}{13}$	5.184	0.001156	5.000	9.356	$2^{k},41$
		23	1 plat de 110 × 10 / 2 cornières de $\frac{100 \times 100}{11}$	4.522	0.001100	4.356		
......	......	......	......	......	......	......	......	......

Limite imposée au travail du métal. — Le Règlement du 29 août 1896 (art. 8) auquel renvoyait le Cahier des charges de l'entreprise obligeait de s'assurer que dans le cours du lançage le métal n'atteindra dans aucune pièce une limite dangereuse. Que doit-on entendre exactement par cette expression de « limite dangereuse » ? Il y a évidemment là une question d'appréciation qui varie suivant la nature du tablier, la durée du lançage, le matériel employé, etc...

D'après M. Résal (*Ponts métalliques*, t. II, p. 237), une majoration de 1/3 du travail maximum imposé pour le pont en place n'est pas excessive. Pour des ponts comportant des travées de longueurs exceptionnelles, certains ingénieurs ont renoncé à toute majoration ; dans d'autres cas, au contraire, on a admis que le travail pouvait se rapprocher — sans la dépasser, bien entendu, — de la limite d'élasticité (18 kilogrammes pour le fer).

Au pont de l'Oued Endja, en l'absence d'un coefficient explicitement fixé par le Cahier des charges, cette dernière manière de voir a été admise ; la règle de M. Résal n'eût autorisé que des coefficients maxima de $11^{kg},500$ dans les membrures et $7^{kg},500$ dans les treillis.

D'après les calculs de la Société des Ponts et Travaux en fer, le travail maximum devait atteindre :

Dans la membrure basse :	fibres supérieures (*b*)..	$12^{k},67$
	fibres inférieures (*a*)..	12 ,84
Dans la triangulation...........................		11 ,57

Doit-on conclure de là que le travail du métal n'a atteint aucune limite dangereuse ?

Nous ne le pensons pas, et notre opinion à cet égard s'appuie sur trois natures d'observations :

1° Des voilements, faibles mais nombreux, ont été constatés successivement dans l'âme de la membrure basse et ont conduit peu à peu le chef monteur à porter le

nombre des faux montants en bois de trois, nombre primitivement prévu, à sept, puis à dix-huit. La force de ces faux montants a, d'ailleurs, été aussi progressivement accrue ;

2° Des fissures longitudinales ont été observées en plusieurs points (Voir *fig.* 20), sur les semelles inférieures dans l'axe du sillon de roulement ;

3° Lors des épreuves, l'écart entre les flèches observées et les flèches calculées n'a pas été de grandeur comparable à celui qui se constate d'ordinaire dans des cas analogues.

Il y a donc eu certainement une fatigue excessive du métal (étirage des fibres supérieures et écrasage des fibres inférieures de la membrure basse), que les chiffres précédents sont insuffisants à expliquer. Ces faits, rapprochés de ce que les calculs ont été établis dans l'hypothèse des poutres encastrées, prouvent bien que cette dernière conduit, comme nous l'avons laissé entrevoir tout d'abord, à des résultats trop faibles (*). L'hypothèse de la poutre continue doit probablement conduire, il est vrai, à des résultats trop élevés; mais vraisemblablement ils sont plus près de la vérité ; en effet, dans l'espèce, elle multiplie le travail dû à la flexion locale par $\frac{0{,}171}{0{,}125} \times \frac{2{,}80}{1{,}76} = 2{,}17$ dans les fibres supérieures et par $\frac{0{,}171}{0{,}125} \times \frac{2{,}80}{2{,}80} = 1{,}36$ dans les fibres inférieures, ce qui élève le travail total au voisinage et même au-delà de la limite d'élasticité.

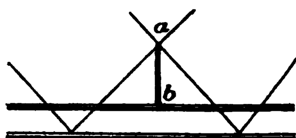
Aussi, s'il était permis de tirer une conséquence des considérations qui précèdent, nous dirions : l'hypothèse de la poutre continue donne, au point de vue de la sécu-

(*) Il en est surtout ainsi avec des galets indépendants. A l'arrivée d'une semelle de renfort, la charge π d'un galet se trouve doublée, tandis que le module de résistance de la membrure basse passant de $\frac{i}{v}$ à $\frac{i + \Delta i}{v + \Delta v}$ varie peu.

rité du lançage, des indications plus sûres que l'hypothèse des poutres encastrées, et il y a lieu de l'adopter surtout lorsque la limite imposée au travail du métal est élevée. Dans le cas du pont de l'Oued Endja il semble, du reste, sans parler des inconvénients résultant de l'emploi du système des galets indépendants, que les consolidations provisoires faites uniquement avec faux montants en bois de sapin n'ont pas été assez énergiques. Il eût été bon de faire les faux montants en bois dur, en chêne par exemple, et d'armer l'âme de la membrure basse de deux petites cornières supérieures α, α, comme ci-contre,



même de compléter celles-ci par de petites épontilles *ab*, comme l'indique également la *fig.* ci-contre (*).



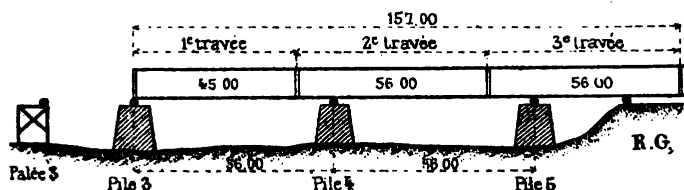
L'influence des petites cornières supérieures est, en particulier, très sensible; la seule présence de deux cornières $\frac{65 \times 65}{8}$ fait passer le module de résistance $\frac{i}{v}$ (brut) de la section courante de la membrure basse de 0,000383 à 0,001027, et réduit, par suite, le travail dû à la flexion locale dans les fibres supérieures de $\frac{2}{3}$ environ.

Accident du 18 janvier 1898. — Les calculs que nous venons d'exposer trouvent une application intéressante dans l'explication d'un accident survenu le 18 janvier 1898 dans le cours du lançage et dû à une témérité du chef monteur qui, pour des raisons restées inconnues, crut

(*) Ces dispositions ont été prises lors du lançage de la passerelle de montage du pont Alexandre III (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1898, 3e trimestre, p. 253).

devoir transgresser les indications du programme tracé par la Société.

Quelques instants avant l'accident, le tablier était disposé comme l'indique la figure ci-dessous.



Il y avait quatre galets sous chaque poutre, et chaque galet était à l'aplomb d'un montant ou d'un panneau plein, sauf le galet sur rive gauche qui était entre deux montants; nulle part, il n'y avait de faux montants en bois.

A peine le tablier s'était-il avancé vers la rive droite de $1^m,30$ environ que la membrure basse se déchirait à l'aplomb du galet de pile 4 et se voilait fortement à l'aplomb du galet de pile 5. Les *fig.* 23 et 24 donnent des vues amont et aval du tablier indiquant les déchirures au-dessus de la pile 4.

Assimilons le tablier à une poutre continue sur trois appuis (piles 3, 4 et 5).

La réaction de la pile 4 avait pour valeur au moment de l'accident: $\pi = 714^k \times 2 \times 56,00 \times \frac{5}{8} = 49.980^k$,

et développait, par conséquent, dans la section milieu $\overline{mm}$ comprise entre les deux attaches du treillis:

Fibre supérieure (b) : $\mu_1 = \frac{1}{8} \times 49.980 \times 1,76 = 10.995^k$

Fibre inférieure (a) : $\mu_2 = \frac{1}{8} \times 49.980 \times 2,80 = 17.493$

La flexion d'ensemble développait, d'autre part, dans

la même section $\overline{mm}$: $M = \frac{1}{8} \times 714 \times \overline{56}^2 = 27.9888^k$.

On avait alors pour le travail du métal de la fibre su-périeure dans la section $\overline{mm}$:

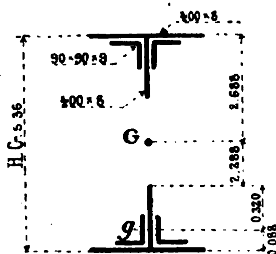
$$\text{Flexion locale (tension)} : \frac{10.095}{0,000.374} = +\ 29^k,40$$

$$\text{Flexion d'ensemble (compression)} : \frac{279.888}{0,051.355} = -\ \ 5,45$$

$$\text{Soit au total (tension)}\ldots\ldots\ldots\ldots \quad +\ 23^k,95$$

c'est-à-dire un chiffre sensiblement supérieur à la limite d'élasticité.

Les nombres 0,000374 et 0,051355 représentent les valeurs de $\frac{i}{v_1}$ et $\frac{I}{V_1}$ applicables à la section courante de la poutre à l'aplomb de la pile 4, c'est-à-dire à la section correspondant au croquis ci-contre :



$I_{net} = 0,117.089$
$i_{net} = 0,000.119.997$.

Il est remarquable que la rup-ture sur la pile 4 corresponde à un joint vertical de l'âme, c'es-à-dire à un point faible ; ma sur la pile 5 où pareille situ tion n'existait pas — et où démontre également que le travail du métal était exce — le voilement de l'âme a été très considérable.

Au reste, l'accident du pont de l'Oued Endja n'est le premier du genre. A notre connaissance, deux aut étaient survenus avant lui : l'un, le 14 février 1871. pont de la Summam, et l'autre, le 10 décembre 1883, viaduc de Douarnenez.

Nous donnons aux *Annexes* des renseignements in ressants sur ces deux accidents ; nous joignons, en ou

auxdites *Annexes*, des renseignements sur un accident survenu au pont de l'Oued Kébir, le 25 janvier 1899, c'est-à-dire postérieurement à l'accident de l'Oued Endja (*).

Les travaux ont été dirigés par M. Daujon, Ingénieur ordinaire, sous les ordres de M. Pelletreau, Ingénieur en chef; ils ont été surveillés avec beaucoup d'intelligence et de dévouement par MM. Beaugendre et Boyer, Conducteurs.

L'entreprise a été conduite de Paris par M. Marsaux, Directeur de la Société des Ponts et Travaux en fer, et sur les lieux, par MM. Prudon, Tarting et Dalancourt, qui ont été successivement ses représentants.

ANNEXES.

NOTE SUR LA DÉTERMINATION DE LA CHARGE MAXIMA D'UN GALET DE LANÇAGE TYPE D (*fig.* 9 et 10).

Ouvrage consulté : *Ponts métalliques*, Résal, t. I (édition 1885, p. 95) et t. II (édition 1889, p. 245).

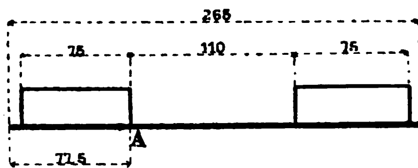
Il y a à considérer : 1° la résistance de l'arbre de rotation; 2° l'altération possible des surfaces en contact.

Résistance de l'arbre de rotation. — *Moment fléchissant.* — L'arbre est assimilable à un solide prismatique de longueur $l = 0^m,265$. Le galet étant évidé comme l'indique la *fig.* 9, la charge P agissant sur le galet se répartit sur l'axe suivant deux

(*) Bien que ne pouvant être attribué à la flexion locale, nous croyons aussi intéressant de signaler aux *Annexes* l'accident du viaduc du Boulaire survenu le 16 août 1873, et cité dans Morandière, t. II, p. 1856.

longueurs $\delta = 0^{m},075$; cette charge uniformément répartie est:

$$\frac{P}{2\delta}.$$



Le moment fléchissant est maximum en A; il a pour valeur:

$$\mu = \left(\frac{P}{2 \times 0,075} \times 0,075 \times 0,775\right) - \left(\frac{P}{2 \times 0,075} \times \frac{\overline{0,075}^2}{2}\right)$$
$$= R \times \frac{I}{V} = P \times 0,02,$$

d'où :

$$P = \frac{1}{0,02} \times R \times \frac{I}{V}.$$

La section de l'arbre donne $\frac{I}{V} = 0,000098$; d'où, pour

$$R = 20^{k} \times \overline{10}^{6}, \qquad P = 98.000 \text{ kilogrammes.}$$

Effort tranchant. — L'effort tranchant maximum a pour valeur

$$T = \frac{P}{2} = \frac{98.000}{2} = 49.000 \text{ kilogrammes,}$$

d'où :

$$R = \frac{49.000}{\frac{\pi \times 0,100^2}{4}} = 6^{k},24.$$

2° Altération des surfaces en contact. — *Contact du galet sur la membrure.* — La limite de charge est donnée par la formule

$$\pi = K \times 2\rho l \qquad \text{(Résal, t. II, p. 245),}$$

formule dans laquelle on peut faire :

$K = 1 \times \overline{10}^{6}$, $\rho = 0^{m},500$, $l = (2 \times 0^{m},02) + 0,0633 = 0^{m},10$

d'où :

$$\pi = 1 \times \overline{10}^6 \times 0,500 \times 0,1033$$
$$= \underline{51.650} \text{ kilogrammes.}$$

Contact de l'arbre et des coussinets. — Les coussinets ayant le même diamètre que l'arbre, la charge maxima que peut supporter celui-ci est donnée par la formule :

$$\pi' = R \times 2\rho l \qquad \text{(Résal, t. I, p. 95)},$$

formule dans laquelle :

$$R = 20 \times \overline{10}^6, \qquad \rho = 0^m,100, \qquad l = 0^m,080;$$

d'où :

$$\pi' = (20 \times \overline{10}^6) \times (2 \times 0^m,100) \times 0,080$$
$$= \underline{320.000} \text{ kilogrammes.}$$

De ces calculs résulte, par suite, que la charge maxima pouvant être supportée par le galet D est de 51.650 kilogrammes.

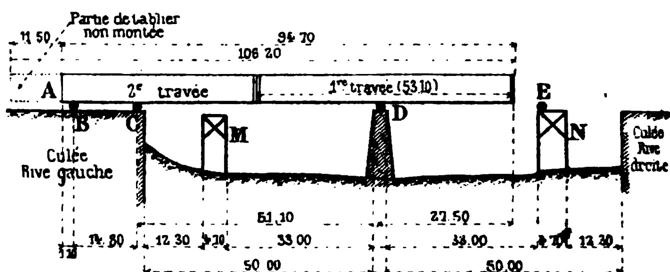
NOTE SUR L'ACCIDENT SURVENU AU PONT DE LA SUMMAM LE 14 FÉVRIER 1871.

Pont en fer à deux travées solidaires de $52^m,30$ de portée entre axes des appareils d'appui. Poutres à montants et croix de Saint-André de $4^m,70$ de hauteur (h. c.) avec entretoises supérieures. Tablier inférieur de $6^m,37$ de largeur mesurée entre axes des poutres, pour deux voies charretières.

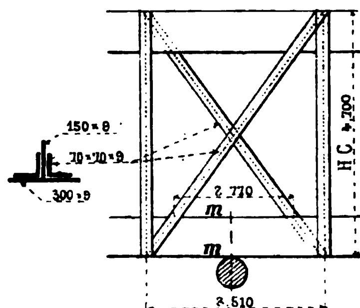
Le lançage était fait au moyen de galets indépendants, et le mouvement du tablier était produit au moyen de treuils et de palans. Il n'y avait pas de faux montants en bois.

Le croquis schématique ci-dessous indique quelles étaient les dispositions prises pour le lançage, quelques instants encore avant l'accident. Antérieurement, lors du lançage opéré entre la palée M et la pile, la palée M tassa de $0^m,30$ au moment où l'avant du tablier n'était plus qu'à 1 mètre de la pile ; grâce au voisinage de cet appui, on put à l'aide d'échafaudages relever le tablier et l'avancer sur la pile; mais, à la suite de ce premier accident, la palée M resta sans emploi pour le lançage au-delà de la pile.

Lorsque l'accident du 14 février 1871 survint, le galet de la pile (un sous chaque poutre maîtresse) était à peu près au milieu



d'un panneau comme il est indiqué ci-dessous; l'âme de la membrure basse s'est voilée et l'avant du tablier est tombé à l'eau.



La section $\overline{mm}$ de la poutre maîtresse répondait aux données suivantes :

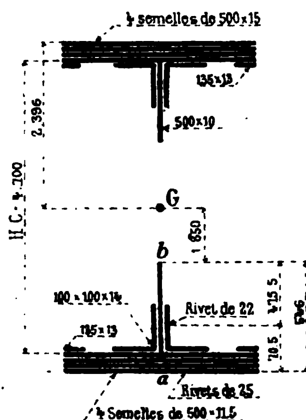
ENSEMBLE DE DEUX MEMBRURES

(hauteur (h. c.) = 470).

2 âmes de 500 × 10
4 cornières de 100 × 100 × 14
8 semelles de 500 × 11,5
4 plats de 135 × 13
I = 0,397976,

fibre inférieure de la plate-bande inférieure :

$$\frac{I}{V} = \frac{0,397976}{2,396} = 0,166097,$$



fibre supérieure de l'âme inférieure :

$$\frac{I}{V} = \frac{0,397976}{1,850} = 0,215122.$$

MEMBRURE INFÉRIEURE SEULE

[Hauteur (h. c.) = 0^m^,546].

1 âme de 500 × 10
2 cornières de 100 × 100 × 14
4 semelles de 500 × 11,5
2 plats de 135 × 13
I = 0,000419

fibre inférieure de la plate-bande inférieure (a) :

$$\frac{I}{V} = \frac{0,000419}{0,0705} = 0,005942$$

fibre supérieure de l'âme inférieure (*b*) :

$$\frac{I}{V} = \frac{0,000419}{0,4755} = 0,000881 \ (*).$$

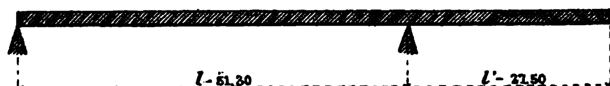
L'accident peut s'expliquer par le calcul qui suit :

La section $\overline{mm}$ subissait des efforts provenant :

1° De la flexion locale occasionnée par la réaction du galet ;

2° De la flexion d'ensemble occasionnée par le poids total du tablier ($p = 1.300$ kilogrammes par mètre courant de poutre).

Chaque poutre du tablier étant assimilable à une pièce prismatique sur deux appuis et débordant d'un seul côté,



1° La réaction en D avait pour valeur :

$$\frac{p}{2l}(l + l')^2 = 78.677 \text{ kilogrammes},$$

et, par conséquent, développait en $\overline{mm}$ dans la membrure basse :

$$\text{Fibre supérieure } (b)\ \mu : = \frac{1}{8} \times 78.677 \times 2.770 = 27.242$$

$$\text{Fibre inférieure } (a)\ \mu : = \frac{1}{8} \times 78.677 \times 3.510 = 34.520 ;$$

2° La flexion générale donnait lieu, d'autre part, dans la section $\overline{mm}$, à un moment fléchissant

$$M = \frac{1}{2} pl'^2 = 491.562 \text{ kilogrammes}.$$

On avait donc dans la fibre supérieure (*b*) de la membrure basse :

$$\text{Flexion locale (tension)} : \frac{27.242}{0.000881} = + 30^k,92$$

$$\text{Flexion d'ensemble (compression)} : \frac{491.562}{0.215222} = - \ 2,20$$

$$\text{Soit au total (tension)} : + 28^k,72$$

(*) Les calculs sont faits sans tenir compte des trous de rivets.

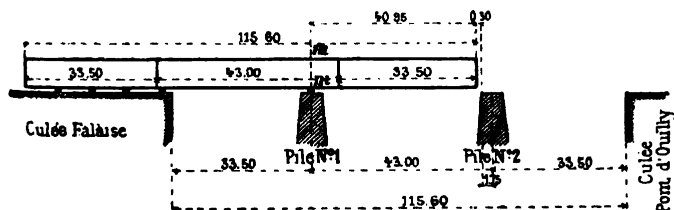
et, d'après ce que nous avons vu plus haut, c'est vraisemblablement là une valeur minima du travail réel. Quoi qu'il en soit, déjà avec un coefficient de travail aussi élevé, les fibres supérieures devaient s'étirer d'une façon permanente et la membrure basse se cambrer vers le haut; la chute du pont était inévitable.

NOTE SUR L'ACCIDENT SURVENU AU VIADUC DU BOULAIRE LE 16 AVRIL 1873.

Pont en fer, pour voie ferrée, à trois travées solidaires de 115m,60 de longueur totale. — Deux poutres principales à âme pleine de 3 mètres de hauteur. — Tablier à mi-hauteur de 4m,90 de largeur mesurée entre axes des poutres principales.

Le lançage était fait sur galets indépendants et à l'aide de treuils et de palans.

Peu d'instants avant l'accident, le tablier était dans la position indiquée par le croquis schématique ci-dessous.



Le tablier reposait sur la pile n° 1 par l'intermédiaire de deux galets (un sous chaque poutre) et sur la culée Falaise par l'intermédiaire d'un certain nombre de galets indépendants. L'avant du tablier était à 0m,30 de la pile n° 2 lorsque tout d'un coup il est tombé dans la vallée.

L'accident doit être attribué à ce que le tablier n'était pas constitué pour résister à la flexion d'ensemble. En effet, dans la section $\overline{mm}$ à l'aplomb de la pile n° 1, le moment fléchissant dû au porte-à-faux était égal à $\frac{pl^2}{2} = \frac{1.211^k \times \overline{40,95}^2}{2} = 1,015.364,$

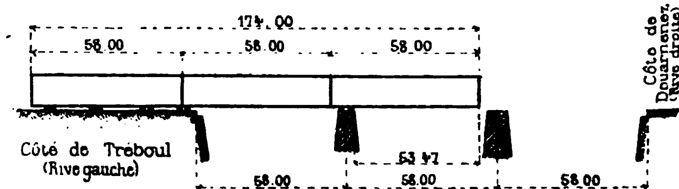
alors que le module de résistance $\frac{I}{V}$ de la même section n'était que de 0,050291 environ ; le travail du métal atteignait donc près de $\frac{1.015.364}{50.291} = 20^k,1$ par millimètre carré.

NOTE SUR L'ACCIDENT SURVENU AU VIADUC DE DOUARNENEZ LE 10 DÉCEMBRE 1883.

Pont en fer à trois travées solidaires de $58^m,00$ de longueur chacune. — Poutres à treillis quadruple et montants verticaux de $5^m,60$ de hauteur (h. c.). — Tablier supérieur de $5^m,50$ de largeur mesurée entre axes des poutres principales, pour deux voies charretières.

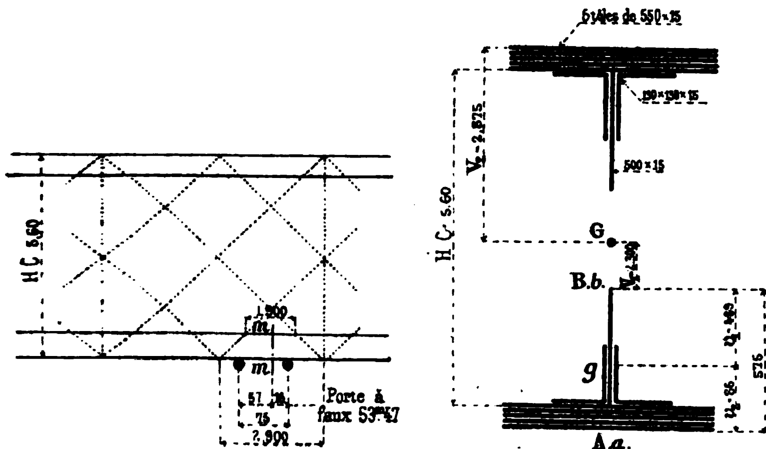
Le lançage était fait au moyen de galets à levier montés deux par deux sur châssis à balancier; le mouvement du tablier était produit par la rotation oscillante des leviers. Il n'y avait pas de faux montants en bois.

Le croquis schématique ci-dessous renseigne sur les dispositions des appareils de lançage peu d'instants avant l'accident.



La chute du tablier s'est produite lorsque le porte-à-faux atteignait $53^m,47$; à ce moment, les galets de la pile (côté Tréboul) étaient à peu près placés entre deux attaches de treillis, comme le représente le croquis ci-dessous. La membrure basse s'est voilée et déchirée fortement (Voir *Génie civil*, numéros du 3 et 18 du janvier 1885).

La section *mm* d'une poutre maitresse répondait aux données ci-après :



MODULES DE RÉSISTANCE (PLEINS).

Ensemble des deux membrures.

$$I = 0,437093,$$

fibre supérieure B :

$$\frac{I}{V_1} = 0,190040,$$

fibre inférieure A :

$$\frac{I}{V_2} = 0,152032.$$

Membrure basse seule.

$$i = 0,000718,$$

fibre supérieure *b* :

$$\frac{i}{v_1} = 0,001468,$$

fibre inférieure *a* :

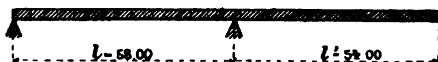
$$\frac{i}{v_2} = 0,008813.$$

Elle subissait des efforts provenant :

1° De la flexion locale occasionnée par la réaction des galets ;

2° De la flexion d'ensemble occasionnée par le poids total du tablier ($p = 1.575$ kilogrammes par mètre courant de poutre).

Chaque poutre était assimilable à une pièce prismatique reposant sur deux appuis et débordant d'un seul côté.



1° La réaction sur la pile avait pour valeur :

$$2\pi = \frac{p}{2l}(l + l')^2 = 170.210,$$

donnant ainsi sur chaque galet $\frac{170.210}{2} = 85.105$ kilogrammes et, par conséquent, développait en $\overline{mm}$ dans la membrure basse :

Fibre supérieure b : $\mu_1 = \frac{1}{8} \times 85.105 \times 1,90 = 20.211$ kilogr.

Fibre inférieure a : $\mu_2 = \frac{1}{8} \times 85.105 \times 2,90 = 30.788$ kilogr.

2° La flexion d'ensemble donnait lieu, d'autre part, dans la section $\overline{mm}$, à un moment fléchissant :

$$\frac{1}{2} pl'^2 = 2.294.890.$$

On avait donc pour le travail dans la fibre supérieure (b de la) membrure basse :

Flexion locale (tension) : $+\frac{20.211}{0.001468} = +13^k,76$

Flexion générale (compression) : $-\frac{2.294.890}{0.190040} = -12^k,07$

Soit au total (tension) : $+1^k,69$

D'après ce que nous avons vu plus haut, ce coefficient représente une limite inférieure du travail du métal ; en assimilant la membrure basse à une poutre continue pour le calcul de la flexion locale, on trouve, au contraire, une limite supérieure égale à :

$$1.69 + \frac{13,76}{3} = 6^k,24.$$

La chute du tablier ne paraît donc pas pouvoir être attribuée à une réaction excessive des galets.

Vraisemblablement l'accident doit être attribué à la rupture de l'un des galets qui fut retrouvé cassé ; l'examen de la cassure de ce galet prouva, en effet, qu'il avait un défaut grave : un manque d'homogénéité dans sa structure.

En supposant alors qu'à un moment donné la réaction de la pile n'agissait que par un seul galet, le travail dû à la flexion locale s'est trouvé doublé : de $13^{kg},76$ il est sauté à $27^{kg},52$, et le travail total s'est élevé à un chiffre compris entre

$$27^k,52 - 12^k,07 = 15^k,45 \quad \text{et} \quad 15^k,45 + \frac{27,52}{3} = 24^k,62.$$

Or, deux natures de faits constatés avant l'accident tendent à prouver que les lançages partiels précédents, effectués avec un matériel insuffisant et sans les précautions convenables, avaient considérablement fatigué le métal : 1° en franchissant la première travée, l'avant du tablier avait pris une flèche maxima de $0^m,34$ environ et, peu de temps avant l'accident, pour la même volée, on observa une flèche de $0^m,48$ environ ; 2° il est avéré que la membrure basse présentait une ondulation générale entre les



nœuds d'attache du treillis. Il est donc vraisemblable que la limite d'élasticité du métal s'était sensiblement abaissée au-dessous de sa valeur ordinaire (18 kilogrammes), et il n'est pas surprenant, par suite, que l'âme de la membrure basse se soit déchirée à sa partie supérieure, puis que le tablier soit tombé à l'eau.

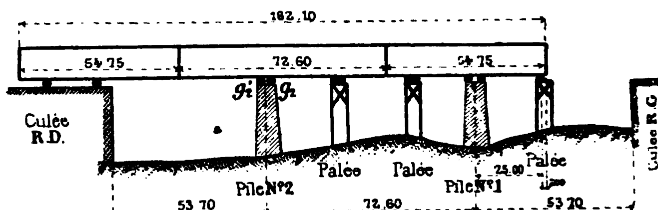
NOTE SUR L'ACCIDENT SURVENU AU PONT DE L'OUED KEBIR LE 25 JANVIER 1899.

Pont en acier de 180 mètres d'ouverture, à trois travées. — Poutres principales à treillis quadruple et montants verticaux de $6^m,05$ de hauteur (h. c.). — Tablier inférieur de $4^m,40$ de largeur entre axes des poutres principales, pour une voie charretière, mais aussi pour voie ferrée de 1 mètre.

Le lançage était fait au moyen des galets indépendants ayant servi à l'Oued Endja et à l'aide de treuils et de palans. Il y avait

37 faux montants en bois dans chaque poutre principale; le nombre des panneaux étant de 30, il y avait donc une consolidation provisoire très importante.

Le croquis schématique ci-dessous renseigne sur les dispositions des appareils de lançage peu d'instants avant l'accident.

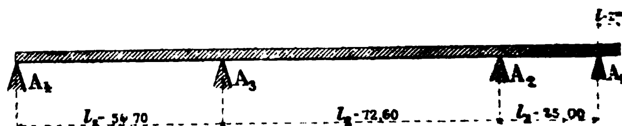


Une déchirure verticale de l'âme de la membrure basse s'est produite, à l'aplomb du galet g_2 sur la pile 2, au moment où des semelles de renfort échappaient le galet voisin g_2' et où, par suite, toute la charge du tablier se reportait sur le galet g_2. La concentration de la charge sur ce dernier galet dut se produire d'autant plus vite qu'il fut constaté après l'accident qu'il y avait une certaine différence de niveau entre les deux galets; le galet g_2' était plus bas que le galet g_2.

L'élévation du panneau où s'est produite la déchirure est donnée *fig.* 25; comme à l'Oued Endja, la déchirure a suivi une ligne verticale de rivets d'un couvre-joint d'âme. Il n'y avait pas d'ailleurs de faux montant dans le panneau correspondant.

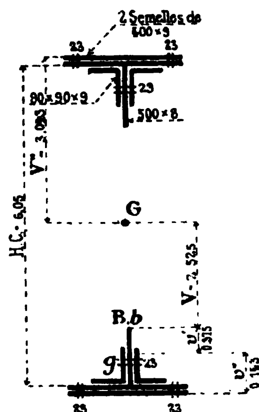
On peut expliquer l'accident comme il suit.

D'après ce que nous avons exposé plus haut pour le pont de l'Oued Endja, le tablier doit être supposé ne s'appuyant pas sur les palées intermédiaires; cette hypothèse est d'autant plus près de la vérité dans l'espèce que des semelles de renfort étaient à l'aplomb de la pile n° 2. On peut donc assimiler chaque poutre principale à une pièce prismatique continue disposée comme ci-dessous.



Le poids linéaire d'une poutre principale étant de 940 kilogrammes, on trouve alors par les formules de Clapeyron qui

réaction totale de la pile 2 était de 80.522 kilogrammes et que le moment fléchissant correspondant à la flexion d'ensemble était sur la même pile de 703.741.



D'autre part, on peut adopter la section ci-contre pour la section moyenne de la poutre.

ENSEMBLE DES DEUX MEMBRURES.

$$I_{net} = 0{,}239.114.533$$
$$\frac{I}{V} = 0{,}078.578.$$

MEMBRURE INFÉRIEURE SEULE.

$$i_{net} = 0{,}000.230.988$$
$$\frac{i}{v'} = 0{,}000.616.$$

Il s'ensuit que le travail dans la fibre supérieure B*b* avait pour valeur (minima) :

$$\text{Flexion locale (tension)}: \frac{0{,}125 \times 80.522 \times 2}{616} = +\ 32^{k}{,}67$$

$$\text{Flexion d'ensemble (compression)}: \frac{703.741}{78.578} = -\ 8{,}95$$

$$\text{Soit au total (tension)}: \quad +\ 23^{k}{,}72$$

Le travail de l'acier atteignait donc la limite d'élasticité normale (24 kilogrammes); mais vraisemblablement la limite d'élasticité était dans l'espèce inférieure à ce dernier chiffre, car les lançages antérieurs avaient beaucoup fatigué le tablier et de nombreux voilements avaient été observés dans l'âme de la membrure basse, justement au voisinage de la région où l'accident s'est produit. D'un autre côté, une crue de la rivière avait, quelques mois auparavant, fait chavirer le tablier et éprouvé sérieusement la résistance des diverses pièces métalliques dont quelques-unes n'avaient même pu être remises en service. L'accident était donc inévitable.

Cet accident de l'Oued Kebir met tout particulièrement en évidence les inconvénients qu'offre l'emploi des galets indépendants.

Il est, en outre, à remarquer que la poutre aval seule s'est déchirée. A la poutre amont aucune déchirure n'a été relevée. Cela tient évidemment à ce que les deux galets g_2 et g_2' d'amont étaient un peu moins écartés que ceux correspondants d'aval ($1^m,05$ au lieu de $1^m,13$) et n'avaient pas encore perdu leur contact avec le tablier; en admettant pour eux la répartition égale, le travail dû à la flexion locale n'était alors que de $\frac{32^{kg},67}{2} = 16^{kg},33$ et le travail total de $7^{kg},38$.

TABLE DES MATIÈRES.

ANNEXES.

N° 23

NOTE
RELATIVE A L'EMPLOI
DES
TRUCKS-TRANSPORTEURS
SUR LE RÉSEAU A VOIE DE 0m,80 DES ARDENNES

Par M. CLAISE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Un certain nombre d'Ingénieurs nous ayant demandé à différentes reprises des renseignements sur l'emploi, dans les Ardennes, des trucks destinés à transporter sur les voies étroites les wagons des grands réseaux, il nous a paru utile de coordonner ces renseignements en développant les considérations qui nous ont amené à proposer les dispositions adoptées, soit lors de la construction des lignes, soit au moment de la mise en exploitation des nouveaux engins.

Depuis la publication dans les *Annales* du mémoire relatif à ces engins (1er semestre de 1894), nous ne croyons pas qu'en France il ait été sérieusement question, en dehors du département des Ardennes, des trucks-transporteurs, si ce n'est peut-être au moment des expériences faites en 1894 et 1895 sur la ligne de Valmondois à Marines.

En revanche, dans les Ardennes, le Conseil général s'était montré tout de suite favorable à l'idée d'utiliser ces engins sur le réseau à voie de 0m,80, dès que ce

réseau avait été déclaré d'utilité publique par la loi du 9 août 1894. L'autorisation de les laisser circuler ayant été sollicitée de l'Administration supérieure, des décisions ministérielles des 9 janvier et 23 novembre 1896 autorisèrent, comme expérience et à titre précaire et révocable, la circulation desdits transporteurs, sur deux des lignes. Et c'est comme suite à la décision du 9 janvier 1896 que tout d'abord les engins en question ont été mis en service régulier et qu'ils ont fonctionné depuis le 5 août 1896 sur la ligne du Tremblois à Rocroi, où ils avaient transporté, jusqu'au 1er octobre 1898, 2.985 wagons et 10.541 tonnes.

D'après ce chiffre, on peut penser déjà qu'il n'a pas été seulement question de vérifier, au point de vue techniq du matériel roulant, le mode de fonctionnement des engi qui nous occupent, mais qu'on a dû être amené à résoudr tous les problèmes d'exploitation technique et commer ciale que leur emploi a soulevés.

Nous nous proposons donc d'indiquer ici ce qui a é fait, et en cela nous ne saurions avoir la prétention d donner les modèles à suivre, estimant, au contraire, qu le problème est loin d'être résolu et qu'il faudra encor bien des efforts pour arriver à une solution de tous poin satisfaisante.

Quoi qu'il en soit, il peut être intéressant pour certai départements qui veulent concéder de nouvelles ligne de connaître le plus tôt possible les expériences fai dans les Ardennes. Ils seront alors en mesure, tant p la rédaction du cahier des charges que par l'adopti pour la plate-forme et le matériel roulant, de certai dispositions peu coûteuses, de se réserver le moyen d' de trucks-transporteurs. Sans doute, ils n'obtiendrai plus tard cet avantage qu'au prix de plus grands sa fices.

C'est cette dernière considération qui nous a ame

produire, sans plus tarder, les explications que nous allons donner.

Notre étude sera partagée en cinq parties :

1° Modifications apportées aux trucks-transporteurs depuis la rédaction de la note de 1894, et mode d'attelage avec le matériel ordinaire ; 2° comment ces engins se comportent dans les trains ; leur résistance à la traction ; 3° dispositions à donner à la plate-forme des lignes et aux voies pour permettre le passage des grands wagons ; 4° dispositions relatives à l'exploitation ; 5° services rendus.

Avant de discuter ces questions, nous croyons devoir indiquer que, lorsque dans la suite de ce mémoire nous mentionnerons notre intervention dans une question se rattachant à l'étude faite, il s'agira ou d'une proposition présentée par nous et acceptée avec ou sans modification par M. l'Ingénieur en chef Rigaux, ou d'une disposition préconisée par ce chef de service. Ajoutons d'ailleurs que c'est d'accord avec M. Rigaux que la note en question a été rédigée.

I. — Modifications apportées aux trucks-transporteurs depuis la rédaction de la note de 1894.

Nous ne reviendrons pas sur la description des engins employés en Allemagne, description qui a été donnée dans le mémoire de 1894. Nous mentionnerons seulement les modifications qui ont été apportées soit avant la mise en service sur le réseau des Ardennes, soit depuis et à la suite de divers incidents qui ont montré les côtés faibles de certaines dispositions.

a) **Barre de liaison entre les deux trucks d'une même paire.** — Dans le système employé en Allemagne, les efforts de traction d'un engin à l'autre de la même paire

— portant un grand wagon — passent par le châssis de ce grand wagon, et aussi par l'intermédiaire des fusées, coussinets, boîtes à huile et plaques de garde, toutes pièces qui n'ont pas été établies pour résister à de semblables efforts. Cette disposition, peu recommandable pour la bonne conservation du matériel à voie large, avait des chances de ne pas être admise par les grands réseaux. Aussi, la Compagnie de l'Est a-t-elle demandé qu'il fû établi entre les deux trucks portant un grand wagon un liaison rigide pouvant s'adapter aux différents empattements des véhicules à transporter. Cette demande ame le constructeur à étudier un dispositif qui a été décrit e détail dans le *Bulletin technologique de la Société de anciens élèves des Ecoles nationales d'Arts et Métier* (livraison de mai 1895).

Disons seulement qu'il comprend une barre rigid glissant dans un tube à section rectangulaire fixé à l cheville ouvrière de chaque truck et perpendiculaireme à la poutre porteuse. Cette barre et chacun des de tubes sont percés d'ouvertures dans lesquelles vienne s'engager les chevilles qui les réunissent l'un à l'autr Or, la disposition de ces ouvertures est telle qu'en tena compte du jeu longitudinal existant entre la boîte à grais et les plaques de garde du wagon transporté, on pe toujours obtenir une liaison rigide, malgré la diversi des empattements des véhicules à voie normale. Sur l *fig.* 1 de la planche 13, la barre s'aperçoit bien MNP avec ses dimensions principales.

b) **Adaptation du frein à vide.** — Sur les réseaux à vo étroite, pas plus que sur ceux à voie large, les wagons marchandises n'ont été munis nulle part, que nous s chions, du frein continu; mais celui-ci, en revanche, exis presque partout sur les voitures et fourgons.

Avec les trucks, si l'on ne prend pas le parti de l

pourvoir au moins des tuyaux de communication, il faut se résigner à les mettre toujours en queue des trains; d'où résulte d'abord une difficulté pour les manœuvres de gare. En outre, dans le cas d'un arrêt brusque, ou lorsque sur une pente raide le mécanicien bloque rapidement les véhicules munis du frein continu, on peut se demander si la poussée du grand wagon sur le véhicule qui le précède ne tendra point à faire sortir de la voie ce véhicule relativement plus léger; on remarquera d'ailleurs que cette poussée serait d'autant plus dangereuse qu'elle pourrait se produire obliquement à l'axe de la voie, par suite du mode d'attelage au moyen d'une simple barre.

Aussi, l'obligation d'avoir un frein sur les trucks paraît-elle s'imposer et il a été dit (Mémoire de 1894) qu'en Allemagne les sabots de ce frein étaient actionnés à l'aide d'un contrepoids qu'on relevait ou laissait retomber en le manœuvrant soit de la machine, soit d'un wagon voisin, par l'intermédiaire d'une corde soutenue par des poulies convenablement disposées sur tous les véhicules du train.

Or, cette disposition ne manquant pas d'être assez compliquée, nous avons demandé au constructeur l'étude, pour les Ardennes, d'un dispositif permettant de placer sur les trucks les pièces du frein continu Soulerin qui avait été adopté sur les voitures et fourgons du réseau.

La disposition qui a été employée pour les trucks est celle représentée en élévation sur la *fig.* 1 de la planche 13.

Le vase à diaphragme, représenté en A, est soutenu par deux fortes cornières rivées sur la table supérieure du truck; il commande la timonerie — qui ne diffère pas de celle employée avec le contrepoids — par l'intermédiaire d'une pièce coudée contournant l'essieu voisin et dont le point de suspension est l'axe B.

Tel qu'il est établi, le frein en question n'a pas présenté d'inconvénient depuis plus de deux ans qu'il fonctionne. Pourtant, les conduites flexibles, qui constituent le point

faible du système, ont dû être remplacées assez rapidement; mais sur ce point nous pensons qu'avec un peu plus de soin de la part des agents on pourrait prolonger la durée de ces conduites.

c) **Attelage. — Attelage élastique sur les trucks. — Utilité de renforcer certaines pièces du matériel ordinaire voie étroite.** — Dans le Mémoire de 1894, il est indiq que l'attelage d'un truck avec le véhicule voisin e réalisé à l'aide d'une barre se fixant sur l'essieu du gra wagon. Ce système a été remplacé sur les premiers engi des Ardennes par l'attelage direct sur le truck, au moy d'une ferrure spéciale, ayant la forme d'un col de cyg qui est rivée sur la table supérieure de l'engin et qui termine par un bec dans lequel vient s'engager la barr d'attelage; une cheville sert à relier cette barre à ferrure en col de cygne.

Or, cette disposition n'avait pas fait disparaître l'o jection signalée dans le Mémoire de 1894 relativement l'insuffisance d'élasticité de l'attelage du truck avec petit matériel, puisque l'élasticité à rechercher rés seulement dans le tampon fixé sur le petit wagon (*) Aussi des inconvénients divers qu'on doit surtout attrib à ce défaut se sont produits.

Et c'est pour remédier à ces inconvénients qu'un d positif particulier a été établi sur deux paires de truc qui vont être mises en service sur la ligne de Nouzon Gespunsart. Ce dispositif, qui est représenté en C sur *fig.* 1, comprend deux ressorts qui sont identiques à c adopté sur le tampon des véhicules ordinaires et étant placés sur la même tige, font respectivement fo tion de ressort de choc et de traction (**).

(*) Ce tampon, que nous représentons sur la *fig.* 1, se trouve d leurs disposé de façon que le ressort en spirale que porte sa tige p travailler dans les deux sens.

(**) Par une disposition analogue à celle existant dans le tamp

Que donnera à l'usage cette nouvelle disposition? C'est une indication qu'on ne peut guère demander qu'à l'expérience.

Pourtant, le constructeur n'ayant pas placé sur les trucks l'axe du ressort à la hauteur de l'axe du tampon du petit matériel, il arrive que la barre d'attelage n'est pas horizontale ; par suite, l'inclinaison de cette barre, qui atteint un dixième quand le véhicule de la petite ligne est vide, aura la tendance à faire sortir de la voie ce véhicule par l'effet d'une poussée se produisant entre celui-ci et le truck. C'est là évidemment une disposition critiquable, et si, pour de nouveaux engins, l'on trouvait trop de difficultés à installer à la hauteur voulue le ressort en question, nous estimons qu'on pourrait peut-être revenir à l'idée, que nous avions émise au début de l'emploi de ces engins dans les Ardennes, et dont le principe consistait à donner toute l'élasticité nécessaire dans le ressort fixé sur le petit matériel. Au lieu de conserver un tampon de choc et de traction en spirale comme celui qui est employé, nous avions pensé, imitant en cela l'attelage d'une grande partie du matériel à marchandises des grands réseaux, qu'on pourrait obtenir plus d'élasticité et la résistance nécessaire en rendant la tige du tampon d'attelage solidaire d'un ressort à lames parallèles convenablement disposé.

Examinons maintenant comment travaillent, avec l'emploi des trucks, les ressorts placés sur le petit matériel.

Considérons un petit wagon qui serait placé entre la machine et une paire de trucks-transporteurs. La traction se fera entre la machine et le truck par le ressort placé sur la barre de traction, puis par le châssis et enfin par

petit matériel, on pouvait parfaitement obtenir l'élasticité nécessaire dans les deux sens opposés avec un seul ressort. L'installation aurait été moins coûteuse, et il semble qu'elle doive être recommandée sur les nouveaux engins.

le ressort du tampon. Et constater ce fait, c'e reconnaître qu'il y a lieu de traiter en conséquen le châssis du petit matériel et les ressorts, et ce aussi bien le ressort du tampon que le ressort fi sur la barre centrale ; ce dernier devant, en effet, entrain tout le train, alors qu'avec la disposition courante matériel à voie étroite il n'avait qu'à entraîner le wag correspondant.

II. — Comment les trucks se comportent dans les trains. — Leur résistance à la tracti

Le grand wagon placé sur trucks est assimilable à véhicule à bogies. — Défauts de l'attelage de véhicul véhicule. — L'ensemble du grand wagon et des trucks le transportent constituant un véritable véhicule monté bogies, on doit s'attendre à voir cet ensemble se bi comporter pendant la marche.

Dans un train contenant des véhicules de la voie étro à deux essieux et le grand wagon transporté, on const parfaitement qu'en traversant certaines dénivellations d la voie, le matériel à petite section accuse un déplacem notablement plus accentué que le mouvement subi par grand wagon. Et ce fait bien caractéristique résulte t d'abord de ce qu'un essieu du grand wagon, repos sur deux essieux de la voie étroite, n'accuse que la moi de la dénivellation existant dans la voie ; d'un autre cô les voitures et wagons de la voie étroite du type rigi présentant un faible empattement pour l'inscription d des courbes raides, le porte-à-faux de ces véhicules est général plus fort que celui des wagons à marchandises la voie normale.

Malgré cela, la disproportion qui existe entre la larg de la caisse et celle de la voie reste entière et c'est pe être cette disproportion qui frappe le plus à la premi

inspection. Or, si, abandonnant un instant notre voie de 0m,80, nous considérons la voie de 1m,00 et si nous observons que les caisses des wagons à marchandises de 10 tonnes ne dépassent qu'assez rarement 2m,70, on constate immédiatement que l'on reste encore dans la limite de 3 à 1 adoptée par le IVe Congrès international des Chemins de fer, pour la proportion à adopter entre la largeur de la caisse des véhicules à voie étroite et l'écartement de la voie.

Pourtant, d'après les conclusions du Congrès, on doit tenir compte, dans le choix de cette proportion, de la vitesse des trains et de la hauteur du centre de gravité.

Or, sur cette dernière question, on remarque que le poids mort considérable de la paire de trucks (environ 3.200 kilogrammes avec les freins) contribuera à abaisser beaucoup le centre de gravité de l'ensemble ; de plus, le calcul nous ayant montré qu'avec un chargement de 10 tonnes on peut aller pour ce chargement jusqu'à une hauteur de 3m,00 mesurée au-dessus de la voie normale, sans élever outre mesure le centre de gravité de l'ensemble, c'est cette limite de chargement de 3m,00 que nous avions fixée *a priori* pour la voie de 0m,80. Et l'expérience(*) a montré qu'elle n'était pas exagérée pour la voie de 0m,80.

Voilà pour le véhicule considéré isolément. Mais dans un train que devient ce véhicule avec le mode d'attelage dont il a été question?

Celui-ci, bien entendu, n'aura aucune action pour s'opposer aux mouvements de lacets que les véhicules qu'il réunit tendent à prendre; et si l'on admet, avec la plupart des Ingénieurs, que ces mouvements auront d'autant plus de tendance à se produire et à présenter plus

(*) En effet, un wagon chargé dans ces conditions et qui placé sur trucks a déraillé en pleine voie, alors que le train allait à une allure rapide, n'a pas été renversé. Nous reviendrons plus loin sur cet accident.

de chances de déraillement que la vitesse est plus grande, on arrive à conclure que les trucks ne devront pas être admis dans les trains à une allure un peu vive. Car ces mouvements de lacets nous paraissent être ce qu'il faut craindre le plus avec les engins en question ; alors qu'un bon attelage avec tampon peut s'opposer, dans une large mesure, à ce que l'un des wagons sorte de la voie dans un mouvement de lacets plus accentué que les autres, l'action de la barre, au contraire, ne pourrait que favoriser le déraillement du wagon le plus léger.

C'est d'ailleurs cette même considération qui nous a amené à imposer, dans le règlement d'exploitation, que les trucks non chargés, qui constituent les véhicules les plus légers, soient placés à la queue des trains (Voir page 101, l'article 4 du Règlement en vigueur).

Résultats de l'expérience sur la voie de $0^m,80$. — Revenons à notre écartement de $0^m,80$ pour indiquer les résultats qu'il a donnés avec les trucks-transporteurs.

L'expérience qui se poursuit depuis le 5 août 1896, c'est-à-dire depuis vingt-huit mois, sur la ligne du Tremblois à Rocroi, a été faite avec les conditions réglementaires suivantes :

Largeur maxima du chargement............	$2^m,70$
Hauteur maxima de ce chargement au-dessus des rails de la voie normale...............	3 00

Vitesse des convois acceptant ces véhicules :

20 kilomètres à l'heure, du 5 août 1896 au 1er avril 1897;
23 kilomètres à l'heure, après le 1er avril 1897.

Ajoutons que sur cette ligne, qui avait été ouverte à l'exploitation le 18 novembre 1895, la voie était loin d'être parfaitement stable, surtout au début, et, de plus, qu'on rencontre en pleine voie des courbes de

100 mètres, puis, sur 4 kilomètres de longueur, une pente continue variant de 0m,015 à 0m,027.

Or, pendant la période comprise entre le 5 août 1896 et le 1er octobre 1898, l'usage des trois paires de trucks en service est mesuré par les indications ci-après : 10.541 tonnes de marchandises transportées dans 1.624 wagons (*), lesquels ont parcouru 24.282 kilomètres.

Un seul accident s'est produit en cours de route pendant la période considérée. Le 12 avril 1897, au moment où le train — composé, à partir de la machine, de un fourgon, de trois paires de trucks chargées et d'un wagon de la voie étroite — descendait une pente de 0m,011, le truck portant l'essieu d'avant d'un wagon chargé de 5.500 kilogrammes d'objets en fonte moulée, a complètement déraillé. Le train a ainsi parcouru 22 mètres, et il n'y a pas eu renversement.

La cause principale du déraillement a été attribuée à un point « défectueux existant dans la voie tout près de l'endroit où le boudin a franchi le rail extérieur ».

Sans donner à cet incident plus d'importance qu'il convient, on doit cependant retenir qu'il est assez rassurant et que les dimensions adoptées pour la largeur et la hauteur du chargement peuvent inspirer quelque confiance.

Notre conclusion sur la question que nous venons d'examiner est donc que les trucks-transporteurs — en limitant la largeur et la hauteur du chargement homogène du grand wagon et en prenant certaines précautions — peuvent être intercalés dans les trains ordinaires des lignes à voie étroite. Toutefois, on doit remarquer que le mode d'attelage adopté constitue une disposition peu favorable à l'admission de vitesses un peu fortes. Et d'après l'expérience faite sur la voie de 0m,80, il semble que l'on

(*) Ce chiffre, qui diffère de celui de la page 72, ne comprend pas les wagons vides qui ont été transportés.

pourrait admettre parfaitement pour cet écartement des vitesses de 25 kilomètres, quand la voie est bien entretenue.

RÉSISTANCE DES TRUCKS DANS LES TRAINS COMPARÉE A CELLE DU MATÉRIEL DE LA VOIE ÉTROITE. — EXPÉRIENCES AU DYNAMOMÈTRE.

L'une des objections que soulève l'emploi des trucks-transporteurs est l'effort de traction supplémentaire qu'exigent ces engins, soit parce que le poids mort à traîner pour transporter une tonne de marchandises est plus élevé, soit parce que, les trucks ayant des roues plus petites, il faut compter un excédent d'effort pour une même charge brute à remorquer.

a) **Formules théoriques donnant la résistance du matéri à voie étroite et des trucks-transporteurs.** — En alignemen droit et en palier, l'effort à exercer pour déplacer u véhicule est donné par la formule suivante (*) :

$$F = (P - p)\frac{fr}{R} + \frac{Pf'}{R}.$$

Or, si l'on prend pour les coefficients f et f' l valeurs admises dans la pratique, on trouve avec l dimensions du matériel de la voie normale, un résult qui est notablement supérieur à celui indiqué par les fo mules adoptées pour mesurer la résistance des trains palier et en alignement.

En réduisant de près de moitié les valeurs données p f et f' par l'*Aide-Mémoire* de Labarpe et adoptant valeurs 0m,015 et 0m,30 (**), on obtient avec les dim

(*) Dans cette formule P représente le poids total du véhicule; celui du train de roues ; r et R, les rayons des fusées et des roues. f', respectivement les coefficients de glissement et de roulement.

(**) Avec le rayon exprimé en millimètres.

sions ordinaires du matériel de la voie normale :

$$F = 1.000^{kg}\left(\frac{9}{10} \times 0{,}015 \times \frac{0{,}09}{1{,}00} + 0{,}30 \times \frac{1}{500}\right) = 1^{kg},81\,;$$

c'est-à-dire une valeur qui se rapproche de la résistance due au frottement et au roulement, telle qu'elle ressort des formules résultant de la mesure directe des résistances (*).

Avec ces coefficients de $0^m,015$ et $0^m,30$ et les diamètres des roues et des fusées du matériel de transport des Ardennes, on a :

Pour les trucks-transporteurs :

$$F_1 = 1.000^{kg}\left(\frac{9}{10} \times 0{,}015 \times \frac{0{,}09}{0{,}53} + 0{,}3 \times \frac{2}{530}\right) = 3^{kg},41\,;$$

Et pour le matériel ordinaire :

$$F_2 = 1.000^{kg}\left(\frac{9}{10} \times 0{,}015 \times \frac{0{,}065}{0{,}650} + 0{,}3 \times \frac{2}{650}\right) = 2^{kg},27.$$

Quant aux résistances dues à l'air et aux obstacles accidentels, il est bien difficile d'analyser par le calcul l'influence qu'elles peuvent avoir respectivement avec le matériel ordinaire et avec le matériel à voie large transporté.

S'il s'agit d'une ligne sur laquelle on n'admet pas le chargement à 10 tonnes des petits wagons, il ne paraît pas douteux que, pour la double résistance que nous considérons, l'avantage doit être en faveur du grand wagon transportant l'équivalent de deux petits wagons. Dans le cas contraire, l'avantage paraît devoir être en faveur du petit matériel. Aussi, pour des vitesses de 25 à 30 kilomètres, semble-t-il possible d'adopter les indications de

(*) Rappelons en effet que, pour des vitesses inférieures à 32 kilomètres et le graissage à l'huile, « la formule des Ingénieurs de la Compagnie de l'Est » s'écrit : $R = 1{,}65 + 0{,}5V$.

la formule des Ingénieurs de la Compagnie de l'Est, et d'admettre, pour la comparaison que nous avons en vue, les formules suivantes :

$$(a) \qquad R_1 = 3{,}41 + 0{,}05V$$

avec les grands wagons placés sur trucks, et

$$(b) \qquad R_2 = 2{,}27 + 0{,}05V$$

avec le matériel à voie étroite.

b) **Excès du prix de revient de traction par tonne de marchandise sur une ligne déterminée.** — Le poids des wagons de 10 tonnes de la voie normale varie (sauf pour quelques types assez peu nombreux) de 4.000 à 7.200 kilogrammes; mais on sera au-dessus de la moyenne en prenant la tare de 5.800 kilogrammes. De son côté, la paire de trucks-transporteurs pèse 3.200 kilogrammes avec le frein à vide. Par conséquent, en se plaçant dans le cas le plus défavorable pour l'exploitation et admettant que le matériel devra toujours être ramené vide dans la gare d'où il est parti chargé, on devra, avec l'emploi des trucks transportant des wagons complets à 10 tonnes (*), traîner à l'aller une charge brute de 19 tonnes et au retour une charge de 9 tonnes.

Avec le petit matériel on aurait en moyenne, à l'aller, à remorquer 15 tonnes et au retour 5 tonnes.

Considérons une ligne sur laquelle la rampe moyenne (**) est voisine de $0^m{,}012$, et par rampe moyenne nous enten-

(*) La tendance des grandes Compagnies est d'augmenter le chargement de leurs wagons et l'on construit aujourd'hui beaucoup plus de wagons de 15 tonnes que de wagons de 10 tonnes. Or, si l'on remarque que la tare des wagons de 15 tonnes ne dépasse guère le huitième des wagons similaires à 10 tonnes, on doit remarquer immédiatement que le raisonnement que nous allons faire serait moins défavorable pour les trucks, s'il s'agissait de transporter des chargements utiles de 15 tonnes.

(**) Ainsi définie, cette rampe moyenne s'appliquera évidemment à un assez grand nombre de lignes à voie étroite.

drons la moyenne des rampes ou pentes (avec leur signe et leur longueur) situées sur les portions de ligne pour lesquelles le mécanicien doit ouvrir son régulateur. Et cette ligne, nous supposons qu'elle est exploitée par quatre trains mixtes dans chaque sens et qu'elle exige en moyenne le transport journalier de deux wagons de la voie normale chargés à 10 tonnes; nous admettons, de plus, que la moitié du trafic P. V. se fait ainsi à l'aide des trucks-transporteurs et que pour l'autre moitié il n'y a pas intérêt, au point de vue de la bonne conservation des marchandises, à supprimer le transbordement (*).

Nous supposerons encore que le tonnage total parcourt toute la ligne et que le tracteur est une locomotive de 18 tonnes en ordre de marche, laquelle avec une vitesse moyenne de 22 kilomètres imposera une résistance de (**) :

$$18\,(3 + 0{,}17 \times 22 + 12) = 337 \text{ kilogrammes.}$$

Or, des quatre trains dans un sens, deux devraient remorquer chacun un grand wagon chargé et les deux autres chacun le chargement de 10 tonnes sur matériel ordinaire. Dans l'autre sens, on suppose le retour du matériel vide.

En outre, supposons que chaque train comprend, en moyenne, trois voitures et un fourgon pour assurer le service de la grande vitesse (soit un poids total d'environ 22 tonnes).

(*) Cette hypothèse revient à admettre par kilomètre un transport journalier en P. V. de 40 tonnes de marchandises, soit par an : $40 \times 365 = 14.600$ tonnes. Et si on suppose, avec les frais accessoires de gare, de transbordement, etc..., une taxe kilométrique moyenne de 0 fr. 12 par tonne, on voit que ce trafic considéré, qui correspond à une recette kilométrique moyenne en P.V. de 14.600×0 fr. $12 = 1.752$. francs, se rapproche du trafic d'un assez grand nombre de lignes d'intérêt local.

(**) Application de la formule de M. Desdouits pour les machines à marchandises.

Avec un grand wagon chargé, on aura pour la résistance totale(*) :

$$337+19(12+3,41+0,05\times22)+22(12+2,27+0,05\times22)=988 \text{ kg.}$$

Puis, le même calcul étant reproduit pour les autres trains de la même journée, on trouve que dans cette journée l'effort moyen à développer par la machine serait :

$$\frac{2\,(988+823+906+752)}{8}=867 \text{ kilogrammes.}$$

Tandis que, si le même trafic P. V. devait être assuré uniquement avec le matériel ordinaire de la voie étroite, l'effet moyen serait :

$$\frac{4\,(906+752)}{8}=829 \text{ kilogrammes.}$$

Soit une différence de 38 kilogrammes, ou une majoration de $\frac{1}{22}$ environ par rapport à l'effort qu'exigerait le seul usage du matériel ordinaire.

Mais cette proportion de résistance supplémentaire ne s'applique pas à la totalité du charbon brûlé et nous pensons qu'on restera au-dessous de la vérité *en estimant au trentième le supplément du poids de charbon qu'il faut compter pour assurer, avec des trucks, sur la ligne considérée le trafic des marchandises qu'il importe de ne pas transborder.*

Or, la machine dont il a été question, qui marchera à une vitesse commerciale comprise entre 20 et 25 kilomètres, ne pourrait pas sans doute parcourir dans une journée un trajet notablement supérieur à 150 kilomètres et brûlerait journellement environ 650 kilogrammes

(*) En reprenant les formules *a* et *b* de la page 84.

houille. Par suite, le supplément de combustible exigé par l'emploi des trucks s'élèverait par jour à 22 kilogrammes environ, soit pour une année à :

$$365 \times 22 = 8.030 \text{ kilogrammes.}$$

Estimé à 20 francs les 1.000 kilogrammes, ce supplément de combustible qui aura servi à transporter, d'après ce que nous avons dit précédemment, un tonnage de $\frac{14.600}{2} = 7.300$ tonnes, exigerait, par tonne de marchandise non transbordée, une dépense de :

$$\frac{8^{T},300 \times 20 \text{ fr.}}{7.300} = 0 \text{ fr. } 023.$$

soit, en tenant compte des dépenses supplémentaires de graissage et autres, un maximum de 0 fr. 03.

Bien entendu, ce résultat ne peut s'appliquer qu'au cas particulier considéré et encore doit-on remarquer que le raisonnement et les calculs sur lesquels il repose admettent un assez grand nombre d'hypothèses. Mais il faut reconnaître qu'il était difficile de faire autrement, si l'on voulait avoir une indication approximative sur les prix de revient de l'exploitation qui nous occupe.

c) **Mesure de la résistance des trucks dans les trains. — Emploi du dynamomètre.** — En particulier, le point de départ de notre raisonnement pouvait être spécialement critiqué, puisque nous admettions, dans une formule indiquée par la théorie, des coefficients dont la valeur n'est pas nettement connue. Comme d'un autre côté, on prétendait que l'effort à développer avec les trucks était relativement considérable, nous avons été amené à contrôler par une mesure directe, même dans une limite grossière, les deux formules indiquées précédemment.

Les dispositions adoptées et le détail des résultats

obtenus ne sauraient entrer dans le cadre de cette note; mais il nous suffira de mentionner que, malgré leur organisation assez rudimentaire, ces expériences ont indiqué que, pour des vitesses oscillant entre 10 et 18 kilomètres, la résistance d'une tonne de train se rapprochait beaucoup, en palier et en alignement droit, de 3 kilogrammes avec le matériel ordinaire, et de 4 kilogrammes avec les trucks.

C'était constater par suite que les résultats de l'expérience étaient très voisins des données des formules de la page 84, puisque, pour une vitesse de 14 kilomètres correspondant à la moyenne des limites ci-dessus, — 10 et 18 kilomètres, — on obtient :

Pour le matériel ordinaire :

$$R_2 = 2,27 + 0,05 \times 14 = 2^{kg},94 ;$$

Et pour les trucks-transporteurs :

$$R_1 = 3,41 + 0,05 \times 14 = 4^{kg},11.$$

III. — Dispositions à donner à la plate-forme des lignes et aux voies pour recevoir les grands wagons placés sur trucks.

1° TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART.

La circulation des grands wagons sur les lignes à voie étroite amène immédiatement à rechercher si la plate-forme de celles-ci peut, sans inconvénient, recevoir ces nouveaux véhicules.

Dans les Ardennes, les dispositions du Cahier des Charges du premier réseau ayant fait donner à la plate-forme une largeur de $3^m,90$, il ne restait plus, en dehors du gabarit de $3^m,20$ de la Compagnie de l'Est, une largeur suffisante pour permettre le garage des agents cir-

culant ou travaillant sur la voie. Aussi a-t-on été amené à inscrire dans le *Règlement général de l'exploitation* la disposition suivante :

« Les chefs d'équipe et les poseurs, comme toute per-
« sonne qui travaille ou circule sur les lignes, doivent
« toujours avoir présents à l'esprit ces trois points :

« . . . .

« 3° La largeur de la plate-forme n'étant pas suffisante
« pour permettre de rester sur les banquettes lors du
« passage des wagons à voie normale circulant sur trans-
« porteurs, il faut toujours, au moment du passage de
« tous les trains, se garer dans les talus ou les fossés du
« chemin de fer. »

Cette prescription a pu être admise sans inconvénient dans les Ardennes, parce que partout le garage dans les conditions indiquées était possible. Et cette règle paraît pouvoir être adoptée sur la plupart des lignes d'intérêt local, qui ne présentent que tout à fait exceptionnellement des déblais en roche dure à talus très raides ou des murs de soutènement dont le parement extérieur ne permettrait pas le garage commode des agents et ouvriers.

Et même, lorsque ces dispositions exceptionnelles se présentent sur des lignes construites, il sera presque toujours facile d'établir des garages de distance en distance, en couvrant partiellement les fossés dans les tranchées, ou en plaçant sur les murs et en encorbellement une surface de dimensions suffisantes pour quelques personnes. Mais de toute façon, sur les lignes neuves, il ne sera pas en général très coûteux d'élargir la plate-forme au moment de la construction dans les endroits exceptionnels, et cela de façon à donner à celle-ci une largeur utile, qui paraît devoir être celle des ouvrages d'art des lignes à une voie de l'écartement normal, c'est-à-dire une largeur de 4m,50.

Telle est au moins la dimension qui a été admise dans les passages exceptionnels pour deux lignes nouvelles des Ardennes déclarées d'utilité publique le 17 avril 1898. Et puisque cette disposition a reçu aujourd'hui l'approbation des pouvoirs publics, il pourra être intéressant de consulter la modification que nous avions proposé d'apporter à l'article 7 du Cahier des Charges type des chemins de fer d'intérêt local, en vue de la circulation possible des trucks-transporteurs (Voir *Journal officiel* du 22 avril 1898).

Quant aux dimensions à donner aux ouvrages d'art de la voie étroite, on pourrait parfaitement, croyons-nous, ne pas imposer la largeur de 4^{m},50 des ouvrages de la voie large pour ceux de ces ouvrages dont la longueur serait inférieure à 8 ou 10 mètres et permettrait par conséquent aux agents de la voie de se garer facilement en dehors.

Pour la hauteur à réserver au-dessus des rails dans les passages au-dessous des routes et chemins, il suffit d'avoir une hauteur de 4^{m},80 qui réserve encore un espace libre de 0^{m},14 au-dessus du gabarit de la voie large placé sur transporteurs.

Dans la traversée des lieux habités et sur les chaussées et accotements des routes, nous avons prévu, pour le nouveau réseau des Ardennes, que l'on placerait toujours la bordure en tenant compte à la fois du gabarit de la voie normale et des dimensions réglementaires des articles 6, 7 et 8 du Cahier des Charges type des tramways; de plus, nous n'avons proposé d'exception par rapport au même gabarit que pour la dimension de 1^{m},10 qui doit séparer le matériel roulant de l'arête extérieure de l'accotement, et cette dimension, nous avons proposé de la ramener à celle de 0^{m},70 qui paraît encore suffisante pour assurer le garage d'une personne au moment du passage d'un grand wagon placé sur transporteurs.

2° SUPERSTRUCTURE.

a) **Voie.** — *Résistance de la voie et des ouvrages d'art.* — Une des objections que l'on adresse communément au sujet de l'emploi des trucks est celle relative à la résistance de la voie et des ouvrages d'art.

On ne remarque pas en effet immédiatement que le grand wagon est porté par quatre essieux et surtout, quand il s'agit de s'assurer de la résistance des ouvrages d'art, que l'empattement de ce véhicule se trouve être beaucoup plus grand que celui des véhicules ordinaires de la voie étroite.

La tare des wagons de 10 tonnes des grandes compagnies est rarement supérieure à 7 tonnes; sur le réseau de l'Est, à peine la vingt-cinquième partie de ces wagons dépasse-t-elle ce poids. Avec une paire de trucks pesant au maximum 3.200 kilogrammes, on arrive, pour le grand wagon chargé à 10 tonnes et ses supports, à un total de 20.200 kilogrammes. Et cette charge est portée par quatre essieux dont l'empattement total n'est pas inférieur à 3m,40(*).

Or, sur les lignes à voie de 1 mètre, même sur les tramways, ce n'est que tout à fait exceptionnellement que le poids des machines descend en ordre de marche au-dessous de 15 tonnes, et cela avec un empattement ordinairement inférieur à 2 mètres.

Surhaussement à admettre dans les courbes. — En appliquant à la voie de 0m,80 la formule théorique du

(*) Si l'on se décidait à laisser circuler les grands wagons chargés à 15 tonnes. dont la tare ne dépasse qu'exceptionnellement 8 tonnes, on aurait sur les quatre essieux de la paire de trucks au plus 26 tonnes, soit 6 tonnes et demie par essieu, c'est-à-dire une charge analogue à celle des machines de voie étroite, lesquelles représentent en ordre de marche, sur beaucoup de lignes, un poids de 19 à 20 tonnes réparti sur trois essieux.

surhaussement, on trouve :

$$d = 0{,}0063 \frac{V^2}{R}.$$

Comme dans les Ardennes il avait paru prudent de limiter la vitesse des trains à 30 kilomètres à l'heure, on arrivait — en donnant à V la valeur 30 — à l'expression :

$$d = \frac{5{,}67}{R},$$

laquelle indiquait pour le rayon minimum de 100 mètres, qui avait été admis en voie courante, la valeur 0,0567, ou, en chiffre rond,

$$0^{m},06.$$

Nous avons donc été amené à rechercher si, en adoptant un tel surhaussement, il n'y aurait pas danger de renversement pour le grand wagon placé sur transporteurs.

Nous avions choisi comme type un chargement de coke de 10 tonnes, arasé à $3^{m},60$ au-dessus du rail de la voie normale (*) et placé sur un wagon d'un type déterminé, dont la tare est de 5.430 kilogrammes ; le poids d'une paire de trucks avait été pris égal à 2.700 kilogrammes seulement (**). Avec ces données, le calcul montre que le surhaussement de $0^{m},06$ aurait pour conséquence de faire passer la verticale du centre de gravité de l'ensemble à $0^{m},15$ de l'axe de la voie et, d'un autre côté, qu'il faudrait encore un déplacement de l'ensemble du chargement égal à $0^{m},49$ pour amener le renversement du véhicule bien calé sur les trucks.

(*) C'est donc un chargement notablement plus élevé que celui de 3 mètres, que nous avons inscrit dans la réglementation pour l'usage des trucks.

(**) C'était le poids d'une paire de trucks avant l'adoption du frein à vide et des autres modifications que nous avons signalées.

Ces constatations nous ont donc amené à accepter, pour le calcul du surhaussement sur les voies de 0^{m},80 appelées à recevoir des trucks transporteurs, la formule :

$$d = \frac{6}{R}.$$

Toutefois, comme on rencontre sur les deux lignes dont il a été question et en des points tout spéciaux — à proximité des gares et à la traversée des habitations — des courbes qui n'ont que 60 mètres de rayon, il a été spécifié que pour les courbes au-dessous de 100 mètres de rayon, le surhaussement ne serait pas supérieur à ce chiffre de 0^{m},06, et qu'en parcourant ces courbes la vitesse des trains ne pourrait dépasser 20 kilomètres à l'heure.

Les dispositions en question se rapprochent d'ailleurs de celles qui sont employées en Saxe sur le réseau de 0^{m},75 ; la formule employée étant,

$$h = 0,0062 \frac{V^2}{R},$$

alors que l'application de la formule théorique donnerait, pour une voie de 0^{m},75,

$$h = 0,0059 \frac{V^2}{R}.$$

Avec l'écartement de 0^{m},80, qui ne permet guère d'avoir des vitesses supérieures à 30 kilomètres, il semble donc qu'on arrive, en calculant le surhaussement pour cette vitesse maxima, à une pente transversale de la voie dans les courbes raides, qui se trouve tout à fait admissible pour l'emploi des trucks-transporteurs.

Mais, comme la voie de 1 mètre permet d'arriver à des vitesses notablement plus élevées, à 40 et même à 50 kilomètres, on peut se demander si les surhaussements, calculés d'après ces vitesses, ne deviendraient pas dangereux

pour l'emploi des trucks. C'est là une question que l'expérience seule permettra de résoudre.

Nous croyons cependant, d'une part, qu'à cause de la stabilité plus grande de la voie de 1 mètre par rapport à celle de $0^m,80$, on pourrait parfaitement admettre dans la voie une pente transversale plus grande que celle des Ardennes et, d'un autre côté, qu'il n'y aurait peut-être pas grand inconvénient, pour les courbes de plus petit rayon, qui sont toujours en petit nombre, à calculer leur surhaussement, non d'après la vitesse la plus grande qu'on autorise sur la ligne considérée, mais plutôt d'après la vitesse maxima qu'on réalise en passant sur ces courbes.

b) **Gares et stations.** — Quand on a l'intention d'employer les trucks-transporteurs, il est prudent de se préoccuper, dès que l'on fixe les emprises des stations, de la disposition générale qu'on donnera à ces stations, de l'emplacement que l'on réserve à la fosse de chargement et à la halle aux marchandises.

Gare d'échange. — Dans les gares d'échange, la question est presque toujours assez délicate à résoudre, surtout quand la ligne à voie étroite est venue se placer dans une gare de la grande ligne, laquelle présente quelquefois des dimensions à peine suffisantes pour ses installations propres.

Ce dernier cas est justement celui qui s'est présenté dans la gare d'échange de Nouzon, que nous représentons sur la *fig.* 2, planche 13, malgré qu'il ait été particulièrement difficile de résoudre le problème d'une façon commode pour l'exploitation.

Pour le raccordement de la fosse de chargement avec la petite voie, le manque d'espace a amené à faire commencer, presque à la sortie de cette fosse, la rampe de $0^m,01$ qui règne sur 38 mètres de longueur pour racheter la différence de niveau existant dans cette fosse entre les

rails des deux écartements. C'est là une disposition fâcheuse, car il conviendrait d'avoir en ce point une longueur de palier au moins égale à celle qu'occupent, mis à la suite l'un de l'autre, les wagons sur trucks que la fosse permet de charger ou de décharger successivement, ou même un palier suffisant pour recevoir en outre la machine et les quelques wagons que celle-ci pourrait remorquer dans les manœuvres sur la fosse.

Pour ce qui concerne les différents écartements à adopter d'axe en axe, soit pour les petites voies entre elles, soit pour les distances entre celles-ci et la grande voie, ou encore l'espace à réserver jusqu'aux obstacles rencontrés, on a tenu compte du gâbarit du grand réseau. Avec le gabarit de $3^m,20$, on a admis un espace libre de $0^m,80$ entre les véhicules de la voie large; c'est-à-dire qu'on a fixé à 4 mètres l'écartement d'axe en axe des voies, petites ou larges, sur lesquelles devait circuler le grand matériel. Toutefois, comme cette distance aurait nuit à la facilité du transbordement de wagon à wagon, on a admis exceptionnellement, pour les voies destinées à ces opérations, un écartement de $3^m,25$ seulement d'axe en axe.

Du côté du mur de soutènement, on a placé à Nouzon l'axe de la voie à $2^m,25$ du parement, de façon à réserver un espace de $0^m,65$ analogue à ce qui existe au passage des ouvrages d'art de la voie normale.

Près de la halle aux marchandises, on a placé l'axe de la petite voie à la même distance du quai que l'axe de la grande voie et la charpente de l'auvent a été disposée pour laisser passer le grand gabarit placé sur trucks.

Quant au mode de raccordement des grandes voies avec la fosse, on remarquera combien il est défectueux, et cela par suite du peu d'espace disponible.

Gare ordinaire. — Dans les gares ordinaires, la fosse a été placée à l'extrémité d'une voie en impasse qui vient par aiguille s'embrancher sur la voie de chargement et de

déchargement. Les dispositions de la gare de Neufmanil que nous représentons sur la *fig*. 3 de la planche 13 sont celles d'une gare de croisement ; ailleurs, on a supprimé la voie de croisement et l'on a donné à la demi-lune conservée une longueur suffisante pour que ces gares à très faible trafic permettent encore accidentellement le croisement des trains, sauf à refouler, s'il y avait lieu, sur la voie en impasse les wagons qui seraient placés sur la demi-lune.

Ajoutons encore que l'on a cru devoir laisser partout la petite voie au même niveau ; ce qui a amené, par suite, à relever légèrement l'empierrement de la cour au droit de la fosse.

Dans toutes les gares on a conservé, pour l'écartement d'axe en axe des voies, la distance de 4 mètres dont no[us] avons parlé précédemment.

Pour les halles à marchandises, nous devons ajouter q[ue] le quai paraît bien disposé pour le chargement dans le[s] deux matériels s'il est arasé à 1 mètre au-dessus du ra[il] de la voie étroite et si son arête est à 2 mètres de l'ax[e] de cette voie. La différence de niveau de 0m,50 avec l[e] grand wagon se rachetant facilement à l'aide d'un pont d[e] longueur convenable, qui peut pénétrer à l'intérieur de l[a] halle, s'il est utile de rouler les colis à manutentionne[r].

Longueur des fosses. — La longueur à donner à la fos[se] dans chaque gare devait, bien entendu, être fonction d[e] l'intensité et de la nature du trafic de cette gare, ma[is] on devait surtout tenir compte du nombre de wagons [de] voie normale que la gare pourrait recevoir par le mêm[e] train.

Ceci admis, la longueur d'une fosse a été détermin[ée] d'après les données ci-après :

1° La barre de liaison des deux trucks d'une mêm[e] paire permet d'écarter les chevilles ouvrières de c[es] engins dans des limites variant entre 2m,50 et 4 mètres.

2° L'extrémité d'un truck, du côté opposé au vase[...]

diaphragme du frein, se trouve à $0^m,90$ de l'axe de la cheville ouvrière ;

3° La plus grande longueur des wagons de 10 tonnes (*) mesurée entre tampons est de $8^m,10$;

4° La portion de la fosse dont la partie supérieure se trouve en contre-bas du rail de la voie normale a $0^m,50$ de longueur ;

5° Un wagon de la voie normale peut pratiquement être chargé ou déchargé quand l'extrémité d'un des trucks qui le porte a dépassé l'aplomb de la rampe existant sur la partie supérieure de la fosse.

Ces indications se trouvent d'ailleurs réunies sur le croquis de la *fig.* 4 de la planche 13. Et à la seule inspection de ce croquis, on se rend bien compte des dimensions à donner aux fosses pour permettre la réception simultanée d'un nombre déterminé de wagons à voie large.

Si la gare ne doit recevoir qu'un seul wagon à la fois, et c'est bien le cas, pensons-nous, de la plupart des gares des lignes à trafic agricole, il suffira d'avoir une longueur de 7 mètres.

Si l'on doit charger ou décharger deux wagons à la fois, mais cela exceptionnellement, on peut admettre que la seconde paire de trucks se trouve placée dans le fond de la fosse avec sa moindre longueur, pendant qu'on fait la manœuvre avec la paire placée à l'entrée. Dans ce cas, il suffirait au minimum d'avoir une longueur de :

$$6^m,30 + 0,90 + 2,50 + 0,90 = 10^m,60 ;\ \text{soit}\ 11^m,00.$$

Quand la gare devra recevoir souvent deux wagons, amenés ou repris par le même train, il y a intérêt à pouvoir placer les deux wagons immédiatement au-dessus des trucks, avant qu'on ait à faire les manœuvres de chargement et de calage, ou l'opération inverse. Dans ce cas on

(*) Sauf peut-être pour quelques wagons d'un type exceptionnel.

devrait prendre :

$$6^{m},30 + 5,80 + 4,10 - 0,90 - 0,90 = 14^{m},40.$$

Pour trois wagons à placer simultanément au-dessu des trucks avant de faire le calage du grand wagon ou le décalage, il faudrait théoriquement — avec les hypo- thèses ci-dessus :

$$14^{m},40 + 8^{m},10 = 22^{m},50.$$

Mais, si l'on tient compte qu'il y a peu de chance pour que tous les wagons aient tous la longueur maxima, on peut réduire les dimensions de $14^{m},40$ et $22^{m}.50$ à 14 mètres et à 21 mètres.

D'après ces indications, on voit que pour les statio qui ne sont pas gares d'échange, il suffira presque tou jours et suivant les cas d'adopter les dimensions de 7 mètres, 11 mètres et 14 mètres.

Dans les gares d'échange, il paraît prudent de prév la fosse pour trois grands wagons et de donner à celle- 21 mètres de longueur, à moins, bien entendu, que le tra à desservir par trucks ne soit fort réduit.

Il est vrai qu'on pourrait admettre que, dans l'opérati de chargement ou de déchargement sur trucks, ce de ces engins qui sont placés à l'extrémité de la fo seraient télescopés pendant qu'on fait la manœuvre av celui placé à l'entrée. On pourrait alors se contenter d'u longueur de 16 à 17 mètres pour la fosse.

Dispositions des fosses; leur prix de revient. — L fosses adoptées dans les Ardennes sont constituées des parois métalliques reposant sur des pièces de bois ont reçu des dimensions analogues à celles des traver de la voie normale.

Les rails de la partie supérieure, qui sont des r Vignole de 36 kilogrammes, ont leur patin complèten raboté vers l'intérieur de la fosse et de telle façon

l'âme de ces rails puisse s'appliquer pour y être rivée sur l'âme des poutres qui constituent les parois longitudinales de la fosse. Ces poutres, dont l'âme a $0^m,007$ d'épaisseur, reposent sur des traverses de $2,20 \times 0,18 \times 0,12$, écartées de $0^m,80$ d'axe en axe, et elles sont fixées sur ces traverses par l'intermédiaire d'un double cours de cornières de $\frac{60 \times 60}{80}$ rivées à la partie inférieure de l'âme; en outre, une console métallique de $0^m,265$ de largeur réunit la poutre à une traverse sur trois.

Les fosses ainsi constituées ont coûté au département 90 francs le mètre linéaire pour la ligne de Nouzon à Gespunsart.

On peut remarquer, d'ailleurs, que des fosses parfaitement conditionnées, mais d'une durée moindre, pourraient être établies plus économiquement en constituant les parois par des pièces de bois supportant un fer d'un profil voulu à la place du rail dont le patin doit être raboté.

Dans l'usine de M. Péchenard, à Bourg-Fidèle, la fosse est simplement constituée par des rails (*) maintenus à la hauteur voulue à l'aide de consoles en fonte fixées sur les traverses qui supportent la petite voie.

IV. — Exploitation.

1° EXPLOITATION TECHNIQUE.

Les deux décisions des 9 janvier et 23 novembre 1896 ont autorisé, avons-nous dit, la circulation des trucks à titre d'expérience sur les lignes de Rocroi et de Gespunsart. Mais, comme ces décisions n'avaient pas prescrit de

(*) Pour ces rails on s'est contenté d'enlever, à l'aplomb du champignon, la partie du patin située vers l'intérieur de la fosse.

réglementation, nous avons pensé qu'il appartenait au Préfet de fixer, dans un Règlement spécial, les précautions que l'emploi desdits engins exigeait.

Un premier Règlement fut donc approuvé le 1er avril 1896 Puisqu'on devait circuler sur une voie récemment posée et puisqu'on ignorait quel degré de confiance devait inspirer une exploitation régulière avec ces engins, on a cru indispensable d'exiger au début pour ceux-ci l'organisation de trains spéciaux marchant à une vitesse réduite.

Puis, après une expérience poursuivie pendant huit mois, il a paru possible de laisser intercaler un grand wagon transporté dans les trains qui prennent des voyageurs sur la ligne du Tremblois à Rocroi.

Un nouveau Règlement a donc été rédigé dans ce sens. C'est ce règlement que nous croyons intéressant de reproduire intégralement ci-après :

LIGNE DU TREMBLOIS A ROCROI.

INSTRUCTION SUR L'EMPLOI DES TRANSPORTEURS.

Art. 1er. — *Observations générales.* — Sont seuls aptes à être chargés sur transporteurs les wagons à deux essieux de la voie normale dont le chargement ne dépasse pas 10 tonnes.

Le chargement de ce wagon doit être uniformément réparti de façon que les quatre ressorts soient chargés également ; il faut, en outre, garantir ce chargement contre les déplacements qui pourraient survenir pendant la marche.

On n'acceptera pas les wagons dont le chargement mesuré au-dessus du rail de la voie normale dépasserait 3 mètres ou dont la largeur dudit chargement serait supérieur à $2^{m},70$ ou encore les wagons dont la nature du chargement sera telle qu'on ne puisse être assuré que le centre de gravité correspond ou se rapproche beaucoup de l'axe de la voie.

Lors des violentes tempêtes, l'introduction dans les trains de transporteurs chargés doit être abandonnée.

Art. 2. — *Expédition des transporteurs chargés dans les trains (trains de voyageurs et trains de marchandises).* — Autant que cela

est possible, on place les wagons sur tranporteurs en avant des voitures ou des wagons de la voie étroite.

On n'admettra qu'un seul wagon transporté dans les trains qui prennent des voyageurs et ce wagon de la voie normale ainsi transporté devra être séparé des voitures ou fourgons contenant des personnes par un wagon au moins de la voie étroite.

Dans la formation des trains de marchandises on prendra soin, autant que possible, de séparer par un wagon à voie étroite deux wagons transportés; de plus, on répartira avec discernement et le mieux possible les wagons freinés, et il est entendu qu'un wagon de la voie normale, quand il est chargé, comptera comme deux véhicules de la voie étroite dans le calcul du nombre des freins.

L'ordre de départ d'un train ne devra être donné par le conducteur-chef — pour ce qui concerne le coup de cornet qu'il doit donner — que lorsque cet agent aura reconnu que le grand wagon est convenablement fixé sur les transporteurs par ses roues et par ses essieux, et que le chargement remplit les conditions indiquées à l'article 1er.

Les trains contenant les transporteurs ne devront jamais marcher avec une vitesse maximum supérieure à 23 kilomètres à l'heure. En particulier, on devra circuler avec précaution sur les remblais élevés (*), dans les courbes raides et surtout en abordant celles-ci : la vitesse sera réduite à 15 kilomètres dans les courbes de 100 mètres et au-dessous.

La manœuvre du frein et celle du régulateur ne devront pas, sauf le cas d'urgence, être brusques.

Art. 3. — *Chargement et déchargement des marchandises des wagons de la voie normale placés sur transporteurs.* — Le chargement et le déchargement des grands wagons placés sur transporteurs doit s'effectuer avec les plus grandes précautions. Avant cette opération, il faut consolider les grands wagons contre tout renversement au moyen d'étançons et, de plus, on devra veiller à ce que les manipulations se fassent avec une grande uniformité, de façon à éviter tout mouvement de bascule latéral.

Art. 4. — *Transport des transporteurs vides dans les trains.* — Quand des transporteurs doivent circuler à vide, on doit toujours les placer à la queue du train. Si ces transporteurs étaient munis de freins, on n'intercalerait pas ces freins dans le train.

(*) Les remblais qui auraient pu être les plus dangereux en cas de déraillement étaient signalés aux agents par une note ajoutée à ce règlement.

ART. 5. — *Le nouveau règlement annule le précédent.* — Les dispositions du présent règlement annulent celles du précédent règlement approuvé le 1er avril 1896, par M. le Préfet des Ardennes.

Dressé par le soussigné :
CLAISE.

Vu et présenté par l'Ingénieur en Chef soussigné :
RIGAUX.

Approuvé le 1er avril 1897 ;
Pour le Préfet :
F. LAMBERT.

Ces dispositions réglementaires résultent toutes, ou à peu près, de considérations que nous avons déjà développées ; nous ne croyons donc pas utile de les examiner à nouveau.

On remarquera toutefois que l'on autorise seulement l'intercalation d'un seul grand wagon dans les trains de voyageurs. Cette disposition constitue peut-être une mesure de prudence exagérée. Mais, comme avec le nombre de trains réguliers dans chaque sens on était certain de faire face au trafic, on a pensé qu'il était préférable de n'avoir qu'un seul grand wagon qui serait placé non loin de la machine et pour ainsi dire sous l'œil du mécanicien et du chauffeur.

La vitesse est limitée à 23 kilomètres à l'heure ; cela permet encore d'avoir un horaire correspondant à une vitesse moyenne entre stations de 20 kilomètres.

Depuis que ce Règlement du 1er avril 1897 est en vigueur, c'est-à-dire depuis quinze mois, 603 wagons vides ou chargés ont été placés dans des trains de voyageurs et ont servi à transporter 1.623 tonnes de marchandises (*).

En dehors du déraillement dont il est parlé page 8?, un seul incident s'est produit.

(*) Le nombre des wagons peut paraître élevé eu égard au tonnage transporté, mais il convient de remarquer que, pendant l'année 1897, on avait surtout placé des wagons vides dans les trains de voyageurs.

Le 13 juillet 1897, un train en manœuvre dans la gare du Tremblois comprenait un grand wagon chargé de coke qui avait été placé sur trucks avant d'avoir été fixé convenablement sur ces engins. En franchissant une courbe sur laquelle le surhaussement était de $0^{m},06$, ce wagon glissa sur les ailes de la poutre en laissant sur l'une d'elles une trace bien apparente de glissement, puis il se renversa vers l'intérieur de la courbe, et cela assez lentement pour que le mécanicien ait pu arrêter immédiatement son train et éviter le déraillement des véhicules voisins. Il n'y eut, en fait de dégâts, que de faibles dégradations au wagon renversé.

Dans ces conditions on a cru utile, quand il s'est agi récemment de mettre en circulation ces engins sur la ligne de Nouzon à Gespunsart, d'ajouter la prescription ci-après pour le règlement relatif à cette ligne :

« Dans la manœuvre de chargement sur trucks, aussi-« tôt que le grand wagon reposera sur les trucks et sera « sorti de la fosse de chargement, on s'empressera de le « fixer solidement par les griffes qui serrent les jantes « des roues du grand wagon sur la poutre porteuse et « aussi par les cales qui se placent entre les fourches et « les essieux de ce wagon.

« De même, dans la manœuvre de déchargement, on « n'enlèvera les mêmes attaches qu'au moment de placer « le grand wagon sur la fosse. De toute façon, on ne « devra jamais faire la moindre manœuvre de gare tant « que cette précaution ne sera pas prise. »

On remarquera encore que le règlement ne prohibe pas l'emploi de la machine pour les manœuvres sur la fosse de chargement, et en réalité c'est toujours ainsi que l'on procède. De cette façon, et le wagon étant préalablement amené sur la fosse, il faut compter, avec le personnel ordinairement employé, un mécanicien, un chauffeur et un conducteur, environ dix minutes pour placer la barre de

liaison à l'écartement voulu, puis charger le grand wagon sur les trucks et le caler en dehors de la fosse. Quant à l'opération inverse, elle demande plutôt moins de temps. Il est vrai que parfois la durée de la manœuvre est augmentée par les difficultés qu'on rençontre à placer les cales sur certains wagons spéciaux.

En temps de neige ou de verglas, la manœuvre est sensiblement plus pénible pour les agents et dure plus longtemps ; mais c'est ce qui arrive pour tous les travaux de cette nature.

2° EXPLOITATION COMMERCIALE.

FRAIS DE LOCATION DU GRAND WAGON ; TAXE POUR L'USAGE DES GRANDS WAGONS TRANSPORTÉS.

En Saxe et dans le Wurtemberg, les lignes à voie étroite sur lesquelles circulent les trucks sont, comme les réseaux à voie large, exploitées par l'État. On n'a donc pas rencontré la difficulté qui s'est tout de suite présentée dans les Ardennes, quand on a eu à fixer le taux de location du grand wagon pendant son séjour sur la ligne à voie étroite.

a) **Dispositions adoptées dans les Ardennes pour la location du grand wagon au réseau à voie normale.** — Le traité intervenu pour l'échange des marchandises dans la gare commune du Tremblois contient les dispositions suivantes :

Premier cas. — *Le wagon est remis chargé et restitué vide, ou inversement.*

Si le délai qui s'écoule entre la remise et la restitution du wagon est inférieur ou égal à huit heures, déduction faite des heures de nuit, la taxe de location est fixée à 0 fr. 75. Puis entre huit heures et seize heures, la taxe est encore de 0 fr. 75, et au-delà elle est de 0 fr. 30 par heure de retard.

DEUXIÈME CAS. — *Le wagon est remis chargé et restitué chargé à 4.000 kilogrammes au minimum.*

Si le délai qui s'écoule entre la remise et la restitution du wagon est inférieur ou égal à douze heures, déduction faite des heures de nuit, la taxe de location est fixée à 0 fr. 75. Entre douze heures et vingt-quatre heures, on paie encore 0 fr. 75, et au-delà 0 fr. 30 par heure de retard.

Sur la ligne de Nouzon à Gespunsart, la Compagnie de l'Est a accordé une base différente, qu'elle considérait comme plus avantageuse pour la petite ligne, et qu'elle avait consentie à titre d'expérience seulement, car c'était sur cette ligne que, d'après les prévisions, l'emploi des trucks devait être expérimenté tout d'abord.

A Nouzon, le traité d'échange ne prévoit plus qu'une seule période de huit heures, et pour celle-ci la Compagnie de l'Est consent la gratuité ; au-delà, c'est la taxe de 0 fr. 30 par heure qui fonctionne.

b) **Tarif adopté dans les Ardennes pour l'usage des grands wagons.** — Et cette taxe de la location des grands wagons à qui devait-elle incomber ? En outre, le public devait-il continuer à payer les frais de transbordement pour des marchandises qu'on ne transbordait plus ?

Sur la ligne du Tremblois à Rocroi, on a cru dès le début devoir laisser les frais de location du wagon à la charge de la marchandise et l'on a fait approuver un tarif spécial pour les « *marchandises transportées à petite « vitesse sur des trucks, par des wagons de la voie nor- « male* » ; les prix de transport étant ceux fixés pour les wagons complets (*), avec addition de 1 fr. 50 pour frais de location par wagon, quel que soit le tonnage.

(*) En outre, on continuait à percevoir la taxe de transbordement et les frais de gare.

Quant au délai de stationnement, il n'était autre que celui du tarif général (*), soit huit heures.

Ainsi, la grande compagnie réclame 0 fr. 75 pour les huit premières heures ou 1 fr. 50 pour les seize premières, puis 0 fr. 30 par heure pour les heures qui suivent. De son côté, la petite ligne réclamait au public 1 fr. 50 pour les huit premières heures et au-delà de cette période la base de 0 fr. 40 de l'heure s'appliquait. L'exploitant de la petite ligne s'était donc réservé une marge de huit heures pour transporter le grand wagon à l'aller et au retour et pour prévenir le destinataire.

Telles sont les dispositions qui ont été réglementaires pendant les dix-huit premiers mois de l'emploi des trucks sur la ligne de Rocroi.

Mais, la Compagnie de l'Est n'ayant pas réclamé au début les frais de location de ses wagons, il était arrivé que la partie de la taxe afférente à cette location n'avait pas été imposée à un certain nombre de destinataires ou d'expéditeurs, alors que plus tard la petite Compagnie avait dû, au moment d'un règlement de compte avec la Compagnie de l'Est, payer intégralement les frais en question, tels qu'ils résultaient de la stricte application des conditions du contrat.

Ce fait amena l'exploitant de la petite ligne à adopter une règle différente.

On décidait en principe que les grands wagons ne pourraient être utilisés que par les industriels ou commerçants acceptant un traité qui comprenait les dispositions suivantes :

(*) En prévision des difficultés qui pourraient surgir pour la location de ces grands wagons, nous avions demandé, au moment de la rédaction des tarifs généraux P.V., que l'on fixât à huit heures, le temps pendant lequel un wagon complet est laissé à la disposition du public pour le chargement et le déchargement ; passé ce délai de huit heures, il est perçu un droit de stationnement de 0 fr. 40 par heure et par wagon et cela qu'il s'agisse d'un wagon de la voie étroite ou d'un grand wagon.

1° Engagement de rembourser à la Compagnie locale le montant intégral des sommes que celle-ci devra payer à la Compagnie de l'Est, pour la location des grands wagons ;

2° Perception en dehors des prix ordinaires d'une taxe spéciale de 0 fr. 06 environ par tonne kilométrique. En outre, il est perçu pour le transport d'un grand wagon vide environ 0 fr. 30 par kilomètre parcouru.

La première de ces conditions paraît logique ; mais la seconde stipule une taxe excessive, étant donné le prix de revient du transport. Les intéressés ont dû néanmoins l'accepter pour continuer à charger ou à décharger directement dans le grand wagon, et l'Administration, désarmée qu'elle était, puisque le Cahier des Charges ne prévoit pas l'usage de ces engins, a dû sanctionner les arrangements intervenus.

Ces dispositions sont entrées en vigueur dès le mois de mai 1898 à la suite de l'engagement souscrit par deux des industriels sur trois qui peuvent utiliser la ligne. Malgré l'élévation de cette taxe, qu'on croyait être prohibitive, il a été transporté, du 1er mai au 1er octobre 1898, 953 tonnes de marchandises dans 207 grands wagons.

c) **Dispositions adoptées en Belgique.** — De cette règle, rapprochons celle adoptée en Belgique.

Sur la ligne vicinale de Quiévrain à Roisin, des trucks sont en service depuis 1897 ; ils appartiennent à une société industrielle (*) dont l'usine (fabrique de phosphore) est desservie par ladite ligne.

Le transport est taxé au poids net de la marchandise, d'après la classe à laquelle elle appartient. De plus, les frais de transbordement n'étant pas perçus, la petite ligne demande 1 franc par wagon pour frais de chargement, de déchargement et d'arrimage sur les trucks, ceux-ci

(*) Cette Société se charge également de l'entretien desdits trucks.

étant transportés au retour gratuitement, s'il y a lieu de faire cette opération.

L'État Belge accorde aux wagons chargés sur trucks un délai franc de six heures. Si l'absence du wagon se prolonge au-delà de six heures, il est perçu une redevance de 0 fr. 03 par heure d'absence supplémentaire, tant que cette absence ne dépasse pas vingt-quatre heures; après vingt-quatre heures, on applique une amende de 0 fr. 25 par heure.

Toutes ces conditions sont donc, pour le public, plus avantageuses sur la ligne belge que sur le réseau ardennais.

d) **Dispositions qu'il conviendrait d'adopter en France.** — 1° *Location du grand wagon.* — Tout d'abord, la première période accordée par la grande Compagnie, pour la location nulle ou faible de ses wagons, est trop réduite avec le délai de huit heures. En effet, en partageant par moitié par exemple le délai prévu dans la gare de Nouzon et laissant le wagon quatre heures à la disposition du public et quatre heures à l'exploitant, on reconnait combien ces deux périodes de quatre heures sont faibles, surtout pour l'exploitant, qui ne peut en général que profiter de ses trains réguliers pour emmener les wagons. Il serait fort désirable que la grande Compagnie accordât une première période d'au moins seize heures (en dehors des heures de nuit).

Et ce sacrifice demandé à la grande Compagnie serait-il onéreux pour elle par rapport à ce qui se passait avant l'existence de la petite ligne ?

Avant la création de la petite ligne, la marchandise arrivant dans la gare du grand réseau pouvait rester sur wagon et immobiliser celui-ci pendant les deux jours (*)

(*) Nous ne considérons pas le cas de certains tarifs applicables à un fort tonnage et prévoyant une prime aux destinataires qui rendent disponibles les wagons dans un délai restreint.

qui suivaient l'arrivée de ce wagon, puisque le destinataire ne se trouvait pas en général desservi par le même bureau de poste que la gare qui expédiait l'avis. Or, avec le truck-transporteur, le grand wagon est emmené immédiatement en dehors de la gare où il n'encombre plus les voies, et la cour de celle-ci n'a pas à recevoir les voitures qui viennent charger ou décharger la marchandise.

Le transporteur évite par suite à la grande Compagnie certaines dépenses d'entretien et même de premier établissement. D'un autre côté, il ne cause au grand matériel aucune usure appréciable (*). On ne s'explique donc pas qu'on traite plus durement la Compagnie qui est venue établir une ligne affluente qu'on ne traitait le client d'autrefois. Car, en raisonnant ainsi, nous n'examinons pas bien entendu le cas des chemins de fer à voie étroite qui feraient concurrence au grand réseau.

Ainsi, c'est *une première période de seize heures au moins* qu'il conviendrait d'accorder et cela avec *le principe de la gratuité à peu près complète*.

Voilà, à notre avis, la première question qui doit être résolue dans le sens que nous avons esquissé, si l'on veut arriver à la possibilité d'utiliser les engins qui nous occupent sur le réseau français à voie étroite.

Il y a en jeu, non seulement l'intérêt du public, mais aussi la prospérité de certaines lignes à voie étroite ; d'un autre côté, l'État et les grandes Compagnies ne sauraient rester indifférents au développement de la richesse dans la région desservie par chaque ligne considérée. Aussi, dans le cas où l'on reconnaîtrait l'exactitude de nos observations, l'intervention de l'administration supérieure pourrait-elle se justifier, puisque celle-ci a déjà dû prendre une décision dans une question analogue, celle relative à

(*) Nous laissons de côté évidemment les avaries résultant d'accidents, lesquelles resteraient à la charge de celui qui les a causées.

la taxe de transbordement. Il est vrai qu'une entente pourrait peut-être intervenir directement entre les représentants des grands réseaux et ceux des lignes d'intérêt local, si cette question était examinée dans les Congrès de chemins de fer ?

2° *Taxe pour l'usage des grands wagons transportés.* — Les relations de Compagnie à Compagnie étant ain fixées, comment l'exploitant de la voie étroite pourra-t- organiser son exploitation avec le délai que nous avo proposé ?

Il faudrait décider tout d'abord que les transporteurs ne seront pas nécessairement utilisés pour les produits expédiés ou reçus des localités non directement desservie par les stations de la petite ligne, si ce n'est pour le destinataires qui auraient fait connaître à l'avance qu'i prennent à leur charge les dépenses d'un « exprès ».

De cette façon, en accordant six heures au public po charger ou décharger le wagon, ce qui est parfaiteme suffisant, l'exploitant aurait, avec la période d'envir dix heures qui resterait, le délai suffisant pour faire l transports et prévenir les intéressés. Si le délai d six heures est dépassé, la taxe de 0 fr. 25 ou de 0 fr. 30 p heure de retard se trouverait être à la charge des expéd teurs ou destinataires qui auraient mis de la négligen à opérer le chargement ou le déchargement.

Examinons maintenant quelle taxe devrait logiqueme réclamer l'exploitant de la ligne locale pour le transp des marchandises dans les grands wagons. En continu à appliquer la taxe de transbordement seulement, n pensons que la recette correspondante serait suffisante au delà pour faire face aux dépenses relatives à l'emp des trucks. C'est au moins ce qui semble résulter d considérations qui suivent.

Pour la difficulté de traction, nous avons indi qu'avec la ligne considérée on pouvait admettre un p

de revient supplémentaire de 0 fr. 03 par tonne (Voir p. 87).

Pour la manutention dans les gares extrêmes, on pourra en général utiliser la machine et les agents de trains pendant les stationnements qui s'imposent, et la dépense de ce chef sera réellement très faible. Dans les gares de passage, la difficulté serait plus grande et l'on se trouvera peut-être amené à recourir à une organisation spéciale pour la manœuvre sur la fosse, en admettant par exemple une entente avec les intéressés au sujet de cette manœuvre sous la surveillance du préposé, ou encore en spécifiant que dans certaines gares le grand wagon ne quittera pas le truck-transporteur.

Il resterait encore à comparer les dépenses d'entretien d'une paire de trucks avec celles d'un seul wagon ou de deux wagons de la voie étroite, suivant que l'on admet ou non les véhicules chargés à 10 tonnes sur la ligne considérée. D'après l'expérience des Ardennes, il semble que l'entretien serait plus élevé avec les trucks. Mais il faut espérer qu'à la suite des modifications apportées et avec une construction plus courante beaucoup des inconvénients signalés disparaîtront, et, comme ces engins sont constitués d'une façon très robuste, on ne s'explique pas pourquoi ils exigeraient un entretien très coûteux.

D'ailleurs, si les trucks des Ardennes ont dû être réparés plus souvent que le matériel ordinaire, il faut convenir qu'ils ont parcouru un plus grand nombre de kilomètres, le mode d'emploi de ces véhicules permettant de supprimer le stationnement qu'entraîne le chargement et le déchargement des marchandises. Et, puisqu'on ne considère que les frais à la charge de la Compagnie locale, quand même l'on estimerait que l'entretien du châssis et du train de roues est plus élevé avec les trucks, il faut admettre, en revanche, que l'entretien de la caisse disparaît et qu'en évitant le transbordement on supprime les causes de détérioration — et l'on sait qu'elles sont nom-

breuses quand il s'agit de produits métallurgiques en particulier — qui résultent, pour les caisses, de la projection des marchandises, quand les ouvriers ne prennent aucune précaution.

Quoi qu'il en soit, résumons les règles que nous avons indiquées et qui nous paraissent pouvoir être adoptées par les Compagnies de chemins de fer, sans léser ni les intérêts de ces compagnies, ni ceux du public.

1° *Location du grand wagon.* — Le grand wagon devrait être ramené dans la gare d'échange le lendemain du jour où il aura été emmené. Et aucune redevance ne devrait être payée au réseau à voie large pour ce séjour. Avec cette disposition, un délai de six heures pourrait être accordé au public pour le chargement ou le déchargement. Ce délai passé, le public paierait une amende de 0 fr. 30 par heure de retard, et de même, si la petite Compagnie est en retard, elle prendrait à sa charge l'amende de 0 fr. 30 par heure ;

2° *Taxe à imposer sur la petite ligne pour l'utilisation des grands wagons.* — Les frais de transbordement fixés à 0 fr. 30 continueraient seuls à être perçus.

Cependant pour les marchandises que les intéressés désireraient faire transporter spécialement à l'aide du grand wagon et en particulier si le nombre des trucks ou les installations correspondantes dans les gares étaient assez restreints, on pourrait prévoir une taxe supplémentaire de 0 fr. 10 à 0 fr. 15 ou plus par tonne, cette taxe étant calculée d'après les avantages que retirerait le public pour les marchandises considérées.

V. — Services que le public doit attendre de l'usage des trucks-transporteurs. — Exemple du réseau des Ardennes. — Intérêt que les Compagnies secondaires peuvent en retirer. — Leur emploi est surtout justifié pour certaines lignes et pour le transport de certaines marchandises. — Utilisation des trucks pour un service de camionnage.

Dans ce qui précède, nous avons bien signalé en passant l'utilité que peut attendre le public de l'emploi des trucks-transporteurs, mais il nous paraît utile d'examiner plus attentivement la question à ce point de vue.

Tout d'abord, on doit se demander si les lignes à voie étroite ont toujours procuré les avantages que les pouvoirs publics, État, Départements et Communes, s'en promettaient. Or, il faut reconnaître qu'il y a eu souvent des désillusions assez fortes, et au premier rang de celles-ci on doit mentionner celles qui donnent naissance aux récriminations et aux réclamations relatives à l'état dans lequel la marchandise arrive à destination, quand elle a été transbordée par des agents peu soigneux ou ignorant des précautions qu'exige la manutention de tel produit fabriqué ou même de certaines matières premières.

Nous ne reviendrons pas sur les considérations générales relatives aux inconvénients du transbordement, inconvénients qu'on a pendant longtemps mis en avant contre le principe même de la voie étroite ; mais, si on a été trop loin en exagérant ces inconvénients, nous estimons qu'on exagère dans le sens opposé en niant systématiquement ces inconvénients et en ne mesurant ceux-ci que par la taxe réclamée pour cette opération.

Sur ce point, nous rappellerons tout d'abord les difficultés que cette question du transbordement a fait naître dans les Ardennes.

Aussitôt l'ouverture à l'exploitation de la ligne de Rocroi. les industries (*) de la région avaient utilisé cette ligne; mais les réclamations relativement à l'état de la marchandise à l'arrivée étaient si vives que l'un des industriels, malgré qu'il eût exécuté un embranchement de 1.200 mètres de longueur, préféra retourner à la gare du grand réseau. La seule perspective de pouvoir faire, grâce aux transporteurs, le chargement des grands wagons dans son usine le décida à utiliser de nouveau la petie ligne.

Un autre industriel, qui n'a pas voulu accepter le paiement de la taxe que la Compagnie perçoit actuellement pour l'usage des trucks, a renoncé à employer la ligne à voie étroite pour toutes ses expéditions.

Quant au troisième industriel, qui aurait une distance de 11 kilomètres à franchir sur essieux, il déclare que, sans l'emploi des trucks, il renoncerait à charger ses expéditions dans le matériel à voie étroite.

Si donc ces trois industriels avaient dû continuer à transporter leurs produits fabriqués dans les gares du grand réseau, on peut prévoir que, comme transport en retour, ils auraient pris une notable partie de leurs arrivages en matières premières et que le trafic de ces trois usines, — les seules de la région, — échapperait à peu près complètement à la ligne à voie étroite.

Remarquons, en ce qui concerne le résultat financier de l'exploitation, que la recette kilométrique de cette ligne de 12 kilomètres atteint 4.000 francs, et que, dans cette recette, la part afférente aux usines est d'environ 1.000 francs. Or, les frais d'exploitation par kilomètre devant s'élever à peu près à 3.000 francs, quand tout le réseau sera exploité, cette part de 1.000 francs peut être considérée comme constituant le bénéfice net. Ainsi les béné-

(*) Fonderies de seconde fusion et construction d'appareils de chauffage.

fices d'exploitation — à partager entre le Département et le Concessionnaire — proviendraient de l'usage des trucks.

Sur la ligne de Nouzon à Gespunsart, les industriels se plaignent particulièrement des détériorations et des pertes de combustibles minéraux. Ces combustibles, en effet, non seulement sont plus ou moins brisés dans la projection d'un wagon dans l'autre, mais une partie se mélange avec le ballast et est définitivement perdue. De plus, comme pour les envois de 100 tonnes, le matériel à voie étroite fait souvent défaut, on est amené à jeter ce combustible dans l'entrevoie et à le reprendre à la pelle pour le remettre dans le petit matériel. De là un déchet qui, dans certains cas, pourrait, paraît-il, dépasser 10 0/0.

Sur la ligne de Raucourt à Vouziers et à Buzancy, on avait estimé, dans les évaluations de trafic, que le transport des osiers, qu'on cultive en grande quantité dans la région, procurerait une recette relativement sérieuse. On a bien essayé, il est vrai, d'utiliser la petite ligne pour les expéditions des osiers verts et des osiers secs, mais les inconvénients, qui résultaient d'un chargement mal conditionné dans le grand wagon avec les osiers secs, ont amené à ne recourir au transport sur rails de cette marchandise que dans la région qui se trouvait réellement trop éloignée du grand réseau.

Par les exemples que nous venons de citer, nous avons tenu à montrer que, pour une ligne donnée, on rencontrerait en général certaines marchandises souffrant sérieusement de l'opération du transbordement et que l'inconvénient pouvait aller jusqu'à prohiber en fait le transport de ces marchandises, au moins jusqu'à une certaine distance du grand réseau. Dans ces conditions, on prive le public d'un avantage que le truck-transporteur permet de rendre, et, si de plus la marchandise échappe à la voie ferrée dans un rayon déterminé, on prive l'exploitant d'une

recette qui, d'après l'exemple de la ligne de Rocroi, peut permettre la réalisation de bénéfices nets — qui n'auraient pas existé sans cela — et qui, d'après les conditions de la plupart des conventions, viennent en déduction des sacrifices consentis par les pouvoirs publics pour construire les petites lignes.

C'est là un premier avantage et cependant les concessionnaires des voies étroites ne le reconnaîtront pas volontiers, les uns parce que, d'après les conditions de leur concession, ils n'ont pas directement un grand intérêt à développer le trafic de leur réseau, les autres parce qu'ils voient une difficulté à intercaler les trucks dans leurs trains, quand ceux-ci doivent tous marcher à une vitesse commerciale trop grande.

Mais il est un autre avantage, au point de vue de la facilité de l'exploitation, qu'on ne saurait méconnaître pour les lignes qui ont à assurer un trafic irrégulier comme celui de l'enlèvement des betteraves dans les contrées agricoles, ou, dans les contrées industrielles, comme celui correspondant au transport de matières premières telles que la fonte et les houilles qui, dans la région du Nord et de l'Est, arrivent par rames de 10 et 20 wagons.

Au moment de ces à-coups dans le trafic des lignes à voie étroite, le petit matériel devient absolument insuffisant, si l'on ne veut pas admettre le sacrifice non justifié d'avoir pendant toute l'année un nombre de wagons beaucoup trop grand par rapport au trafic moyen. Dans ces conditions, on doit se résigner à payer une location de matériel au grand réseau, à moins que celui-ci ne consente — ce qui arrive quelquefois — à fermer les yeux sur les retards. D'autres fois, c'est la main-d'œuvre qui fait défaut pour assurer ces transbordements que le personnel courant ne permet pas de faire assez rapidement. Avec les trucks, on peut suppléer à l'insuffisance du matériel ou de la main-d'œuvre en transportant une partie des grands

wagons. Même si la marchandise ne doit pas souffrir de cette opération, on pourra rendre ainsi tous les grands wagons dans un délai qui sera moindre en général que celui qu'aurait nécessité le chargement dans le petit matériel avec les ouvriers dont on dispose dans les périodes considérées.

A ce point de vue, le public sera servi plus vite, la petite ligne évitera l'acquisition d'un matériel trop important, le grand réseau pourra disposer de ses véhicules dans un délai plus court, et l'opération du transbordement — qui rarement pourra se réaliser en moyenne avec les 30 centimes alloués, quand il s'agit d'assurer un trafic irrégulier — n'aura pas causé à la Compagnie qui se charge de cette opération le déficit en question.

Il y a aussi une considération d'ordre social qui vaut la peine d'être envisagée ; c'est la suppression d'un travail assez pénible pour une grande partie des marchandises à manutentionner. En ce moment surtout où la main-d'œuvre se fait de plus en plus rare, où, dans les régions agricoles, les seules à peu près qui restent à desservir par des voies étroites, on ne trouve déjà que très difficilement les bras indispensables à la culture, on ne saurait trop se préoccuper de remplacer par tous les moyens possibles le travail manuel ; l'opération ne fût-elle pas économique au premier abord, quand on essaye de la mesurer par des chiffres correspondant aux prix de revient.

Maintenant, résulte-t-il de toutes ces considérations qu'on doive employer les trucks-transporteurs ou tout autre système analogue sur toutes les lignes à voie étroite? Nous ne le pensons nullement et, si les observations que nous avons présentées pouvaient laisser admettre cette conclusion, c'est que la rédaction aurait dépassé notre pensée.

Au moins actuellement et tant que ces engins n'auront

pas fait l'objet d'une assez longue expérience sur des voies étroites, nous estimons que, pour justifier complètement l'usage des trucks sur une ligne donnée, il importe que ces engins présentent l'avantage d'éviter la détériotiation que cause le transbordement à certaines marchandises devant emprunter cette ligne. A un autre point de vue, il conviendra, avant de mettre les trucks en circulation sur une ligne, de rechercher si le trafic voyageurs à desservir permet le ralentissement d'un train journalier dans chaque sens à la vitesse que nous avons indiquée pour ces engins.

Ces considérations prennent donc plus ou moins d'importance dans chaque cas particulier, et pour une région donnée il sera facile d'apprécier l'intérêt qu'il y aurait à utiliser ces engins.

En dehors de l'utilisation des trucks-transporteurs sur les lignes d'intérêt local proprement dites, on a déjà assuré avec ce système le passage des grands wagons sur les voies étroites des tramways urbains pour réaliser un véritable service de camionnage. L'exemple le plus typique dans ce sens est celui de la ville de Forst, dans la province de Brandebourg. Là, d'après M. Garry (Voir *Bulletin des anciens Elèves des Arts et Métiers*, mai 1895), 183 usines sont desservies au moyen de 61 raccordements à trois voies principales et 40 maisons de commerce utilisent directement au passage ce mode de transport, lequel se fait à l'aide de 30 paires de transporteurs.

Et, puisque dans beaucoup de villes industrielles françaises, les réseaux de tramways se développent de plus en plus, il semble que pareille application doive être appelée un jour à rendre de grands services. Comme pour les lignes d'intérêt local en rase campagne, non seulement on évitera les inconvénients du transbordement des produits dommageables, mais il paraît possible égale-

ment de réduire notablement les prix du camionnage, si nous en jugeons par les prix de transport appliqués dans la ville de Forst. Tout d'abord, le public est donc appelé à bénéficier sérieusement d'une telle disposition, mais le budget des villes parait également intéressé à l'adoption de cette combinaison, le gros camionnage contribuant beaucoup plus que les voitures légères à détériorer les chaussées pavées ou macadamisées.

Charleville, le 20 novembre 1898.

N° 24

MÉMOIRE

SUR LA

TRANSFORMATION DU CANAL LATÉRAL A LA LOIRE ENTRE DIGOIN ET MAIMBRAY

Par M. MAZOYER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

CHAPITRE I.

Exposé historique et état actuel de la question.

A partir du 18 octobre 1898, le mouillage de 2^{m},20 se trouve réalisé entre l'écluse de Putay et la nouvelle écluse double du Guétin, sur une longueur continue de 87^{km},827 (ligne principale) et, par suite, sur toute la partie du canal latéral où ce mouillage ne constituait pas encore la tenue normale. On peut donc compter actuellement sur cette tenue depuis le port du cimetière à Digoin où le canal latéral effectue sa jonction avec le canal du Centre jusqu'aux portes de garde de la Cognardière où ce même canal effectue sa jonction avec le canal de Briare, soit sur les 195^{km},677 de sa ligne principale.

Par ce fait, le mouillage de 2^{m},20 règne actuellement sur la ligne de canaux, longue de 415^{km},677, qui réunit la Seine et la Saône entre Moret et Chalon-sur-Saône et, comme on peut compter sur les mêmes conditions de navigabilité, d'une part sur la haute Seine, d'autre part

sur la Saône, on peut dire que maintenant la ligne navigable de Paris à Lyon par le Bourbonnais bénéficie entièrement des mêmes conditions de navigabilité et peut livrer passage à des bateaux de 38^{m},50 de longueur sur 5 mètres de largeur, ayant un tirant d'eau de 1^{m},80 au maximum avec le gabarit usuel sur tous les canaux principaux du réseau français, de 3^{m},70 sous les ponts supérieurs.

Cette voie se trouve donc ouverte aux bateaux de 300 tonnes qui fréquentent les canaux du Nord et de l'Est de la France ainsi que les Pays-Bas et l'Allemagne. On conçoit toute l'importance économique et stratégique de cette voie nouvellement unifiée au réseau européen des grandes voies d'eau intérieures, puisqu'elle réunit, en passant par le Centre même de la France, les grandes et importantes voies fluviales qui se dirigent d'un côté avec la Seine vers l'Océan, sur Rouen et le Havre, de l'autre côté, avec la Saône et le Rhône, vers la Méditerranée sur Lyon, Arles et Port-Saint-Louis.

Suivant ce nouveau tracé, on trouve un profil peu accidenté, et on ne rencontre aucun tunnel ni aucune section rétrécie. Deux péniches de 300 tonnes peuvent se croiser en tous points de la voie en dehors du passage des ponts supérieurs, et encore bon nombre de ceux-ci sont-ils déjà construits pour deux voies de bateaux.

L'*Album officiel de Statistique* fait ressortir l'importance qu'a déjà acquise depuis longtemps cette direction commerciale, et nos travaux l'ont encore développée dans ces dernières années au point de faire passer le trafic du canal latéral de 400.000 à 600.000 tonnes à distance entière, et qui se développera encore bien davantage dans l'avenir, à la suite de l'achèvement de ces travaux.

Le mouillage de 2^{m},20 a été également réalisé sur cinq des neuf embranchements du canal latéral ; ces cinq embranchements transformés ont une longueur totale cumulée de 8^{km},866, de sorte que la réalisation du mouil-

lage de 2^{m},20 a été opérée sur 204^{km},563 (ligne principale et embranchements réunis).

La transformation du canal latéral est, commercialement parlant, terminée. Il peut rester encore quelques étanchements et autres travaux complémentaires à effectuer, des liquidations d'entreprises à terminer; le public n'en bénéficie pas moins, dès 1898, du résultat des travaux entrepris en vertu du décret d'utilité publique d 25 août 1890.

Ce décret était relatif à la transformation du can latéral entre Maimbray et Digoin et faisait suite au décr d'utilité publique du 29 juillet 1889 relatif à la construction du pont-canal de Briare et de ses branches de raccordement qui s'étendent, d'une part, jusqu'à la Cognardiè (jonction avec le canal de Briare) et, de l'autre, jusq Maimbray sur le canal latéral, soit 17^{km},592. Le décret 1890 portait sur les 178^{km},085 de ligne principale q s'étendent sur le surplus du canal latéral, de Maimbray Digoin. Le total de ces deux longueurs donne bien développement total de la branche principale actuelle canal latéral avec son nouveau tracé aux abords Briare (195^{km},677).

Le décret du 25 août 1890 fut rendu au moment où l travaux du pont-canal venaient de commencer et où préparation des divers lots correspondants était pouss activement. Malgré la somme exceptionnelle d'efforts q ces deux programmes ainsi superposés exigeaient service, le personnel, dûment organisé d'ailleurs, com dans les grands travaux de construction des chemins fer par l'État, répondit aux appels pressants et réitér de l'Administration.

L'amélioration entre Maimbray et Digoin fut répar en dix lots, savoir :

		LONGUEURS correspondantes	DATES de la présentation	DATES de l'approbation	DATES de l'achèvement du gros œuvre
Département de Saône-et-Loire.	1er lot..	0^{k},950	8 octobre 1889	7 février 1890	1891
Département de l'Allier	2e lot..	15 ,712	9 juillet 1891	17 octobre 1891	1897
	3e lot..	32 ,019	23 décembre 1891	20 avril 1892	1897
Départem. de la Nièvre	4e lot..	35 ,155	13 avril 1892	13 juillet 1892	1897
	5e lot..	21 ,264	30 juin 1892	3 mars 1893	1897
	6e lot..	1 ,800	13 juillet 1892	29 mars 1893	1896
Département du Cher	7e lot..	22 ,056	25 mai 1892	11 juillet 1892	1896
	8e lot..	23 ,044	9 mars 1892	12 juillet 1892	1896
	9e lot..	24 ,020	19 février 1892	9 juillet 1892	1896
Département du Loiret	10e lot..	2 ,065	5 mai 1891	24 octobre 1891	1893
TOTAL................		178^{k}.085			

La préparation de ces projets fut d'autant plus laborieuse qu'elle portait sur la réfection d'un très grand nombre d'ouvrages d'art de toute nature (ponts-canaux, ponts supérieurs, aqueducs, écluses, perrés, etc...) disséminés, et qu'il fallait pour chaque ouvrage représenter d'abord l'état actuel et les causes des modifications (changements dans les dimensions ou mauvais état de l'ouvrage), ensuite le nouvel ouvrage prévu. Le nombre total des ouvrages remaniés ou reconstruits s'est élevé à 175.

Le dernier de ces dix lots fut présenté, ainsi qu'on l'a vu plus haut, en date du 13 juillet 1892, et approuvé le 29 mars 1893. Les Ingénieurs de la période des grands travaux de 1879 à 1886 auraient reconnu là la continuation de leurs traditions.

Le canal latéral, livré en 1838 à la circulation, avait été construit avec des écluses de 30^{m},50 de longueur utile sur 5^{m},20 de large, un mouillage qu'on avait fini par élever à 1^{m},60 et qui permettait la circulation des bateaux avec un tirant d'eau maximum de 1^{m},40, c'est-à-dire avec un chargement maximum de 150 *tonnes* et un chargement moyen de 100 tonnes. Les hauteurs sous les ponts étaient

variables, mais généralement inférieures au gabarit normal de $3^{m},70$ des grands canaux français.

Mais il faut remarquer que le canal latéral destiné à suppléer la navigation de la Loire devait prendre pour point de départ les dimensions de la batellerie qui fréquentait alors le fleuve, dimensions qui étaient également celles des canaux voisins de Briare et du Centre. C'est de là que vient cette dimension des écluses de 30 mètres, suffisante pour les bateaux appelés à circuler sur la nouvelle voie d'eau artificielle.

Ces bateaux pouvaient se rendre jusqu'à Paris, c'est-à-dire le principal port et le principal marché de l'intérieur de la France. C'était là rationnellement l'objectif exclusif de la batellerie du Centre. On ne supposait pas à ce moment que les bateaux du Centre et ceux du Nord pussent traverser Paris pour se rendre d'une de ces régions dans l'autre.

Depuis lors, ce qui existe pour les wagons des diverses Compagnies a été réclamé pour les bateaux des divers canaux français, et cette circulation du matériel flottant sur les principales lignes du réseau français est une question résolue entièrement pour le canal latéral à la Loire et déjà presque à moitié pour le canal du Nivernais. On a pu voir, en 1897, des bateaux belges dans le port de Nevers.

Le canal latéral à la Loire présente une autre particularité digne de remarque :

Ce canal, ainsi que nous l'avons déjà signalé dans notre mémoire sur *le Pont-Canal de Briare* (*Annales* 1898, 2e trimestre) a été placé forcément sur la rive gauche du fleuve, en raison de l'impossibilité absolue pour cette voie d'eau artificielle de traverser les villes situées le long de la rive droite, Nevers, la Charité, Cosne, qui s'appuient sur le fleuve lui-même à leur partie inférieure et s'étagent sur les coteaux de la vallée de la Loire jusqu'au sommet

du plateau. On ne pouvait songer à établir le canal entre la ville et la Loire, faute de place et parce qu'il était inadmissible de séparer la ville du fleuve, et on ne pouvait envisager pratiquement l'éventualité d'élever le canal jusqu'au plateau en contournant chacune de ces trois cités. Cette solution, bonne pour les routes et les chemins de fer, ne saurait s'appliquer à un canal latéral où la continuité de la pente doit être la loi générale.

Le canal latéral ainsi établi sur la rive gauche doit donc, pour se relier avec les canaux du Centre et de Briare situés sur la rive droite, traverser deux fois le fleuve, et cette double traversée a été réalisée d'une manière indépendante du fleuve à Digoin par un pont-canal de 243 mètres de long, qui remonte à l'origine du canal et à Briare par le nouveau pont-canal à bâche métallique en acier de 662 mètres de longueur totale, qui a été construit de 1890 à 1894 et livré à la circulation le 16 septembre 1896.

De plus, le canal latéral rencontre, sur la rive gauche, et franchit également, par une traversée indépendante, un affluent de la Loire presque aussi important que le fleuve lui-même, la rivière d'Allier, par un pont-canal de 470 mètres de longueur totale, y compris les écluses accolées et, en outre, divers autres affluents de la Loire de moindre importance.

Ce qui est la caractéristique de ce canal, c'est que, sur les quatre grands ponts-canaux que possède la France depuis 1896 (Agen, Digoin, le Guétin, Briare), trois sont situés sur cette voie. Sur ces trois, un, celui de Briare, a été entièrement construit à l'occasion de la transformation du canal latéral; sur les deux autres, le mouillage a été porté de $1^{m},60$ à $2^{m},20$. Il a donc fallu remanier des ouvrages monumentaux pour les approprier aux exigences commerciales actuelles, sans altérer soit leurs conditions de stabilité et de durée, soit leur

aspect architectural. Enfin l'ancienne écluse triple du Guétin, qui présentait trois sas de 30 mètres et trois chutes de 3 mètres chacune, a été transformée en une écluse double à deux sas de 38^{m},50 et à deux chutes de 4^{m},50 chacune. C'étaient là des problèmes qui, bien que moins difficiles et moins coûteux à résoudre que celui de la construction du pont-canal de Briare, n'en comportaient pas moins des solutions méritant d'être citées.

L'ensemble des travaux a duré sept campagnes.

Le premier lot a été adjugé en date du 7 novembre 1890. le gros œuvre a été terminé sur le dernier des lots au chômage de 1897, et c'est seulement après des travaux complémentaires de la campagne de 1898, notamment des travaux d'étanchement, que le mouillage de 2^{m},20 a pu être réalisé sur tout le canal. Il est cependant à noter que, dès le 1er octobre 1897, ce mouillage avait pu être réalisé depuis le Guétin jusqu'à Maimbray sur 71^{km},645 en même temps que sur la branche neuve du pont-canal depuis Maimbray jusqu'au canal de Briare, soit sur 89^{km},237, y compris cette branche neuve.

En somme, dès 1897, le mouillage de 2^{m},20 était réalisé entre le Guétin et Paris, sur 282 kilomètres, et en 1898 sur tout le surplus de la ligne du Bourbonnais.

On pourrait trouver cette période d'exécution des travaux un peu longue, si on ne songeait qu'ils ont dû être exécutés sur une voie exploitée ; que la partie la plus importante et la plus difficile de ces travaux, celle qui s'effectue au-dessous du plan d'eau, ne pouvait s'exécuter que pendant la période du chômage légal. Ce chômage légal était fixé à soixante jours, en raison de l'allongement des écluses, délai consacré par une longue expérience.

On a d'ailleurs poussé aussi activement que possible, en dehors des chômages, les travaux qui pouvaient s'exécuter au-dessus du plan d'eau.

CHAPITRE II.

Dispositions adoptées et description des travaux.

Le tracé du canal latéral avait été soigneusement étudié par nos prédécesseurs. Il pouvait même, en dehors des écluses, se prêter, en général, aussi bien à la circulation des bateaux de 38m,50 que des bateaux de 30 mètres, au moyen de quelques recoupes de digues sur certains points, mais sans changement complet de l'assiette du canal.

L'ancien canal ne comportait déjà, en voie courante, que peu de passages rétrécis pour une seule voie de bateau.

Sur la nouvelle ligne de transit transformée, on a décidé de ne laisser subsister aucun de ces passages.

Les longueurs du canal latéral portées de une à deux voies de bateau par application de ce principe sont les suivantes :

DÉSIGNATION DES SECTIONS RÉTRÉCIES SUPPRIMÉES	POINTS KILOMÉTRIQUES	LONGUEURS
Entre le pont des Perrus et le pont-aqueduc de Digoin	de 4k,607 à 4k,642	35m
En aval de l'écluse de Digoin	de 5 038 à 5 171	133
En aval du pont-aqueduc de la Vouzance	de 9 091 à 9 349	258
Tranchée du Perron	de 24 131 à 24 605	474
Section rétrécie du Ternat	de 27 230 à 27 841	611
Entre le pont-aqueduc de la Bèbre et l'écluse de la Bèbre	de 29 025 à 29 085	60
Entre les ponts du Colombier et de Gimouille	de 108 045 à 108 785	740
Entre le pont de Sampanges et le pont-canal de Guétin	de 109 550 à 110 000	450
LONGUEURS TOTALES des sections rétrécies supprimées		2.761m

Le nouveau profil en travers comporte une largeur de 10 mètres, à la profondeur de 2 mètres, ce qui correspond à une largeur de 9m,40 au plafond, c'est-à-dire à la profondeur de 2m,20.

De plus, dans toutes les courbes on a prévu au plafond théorique, à la profondeur de 2 mètres, un surélargissement en appliquant la formule classique :

$$L + \Delta L = 10 + \frac{380}{R},$$

R étant le rayon de la courbe, rayon qui ne descend pas au-dessous de 100 mètres au canal latéral.

En outre, comme dans les courbes de canaux, l'angl au centre de la courbe a une influence marquée lorsqu cet angle acquiert une certaine valeur, on s'est assuré par le procédé également classique d'une épure, donnant la suite des positions occupées successivement dans l canal en courbe, par deux bateaux marchant en se inverse, que le croisement de ces bateaux était toujou possible et facile.

En profil, pour porter le mouillage de $1^m,60$ à $2^m,2$ trois combinaisons se trouvent en présence.

Dans les biefs, où se trouvaient de grands ouvrag d'art sous cuvette, on ne pouvait songer à approfondir l plafond; c'eût été une disposition ayant le double inco vénient.

1° D'être trop coûteuse;

2° D'entraîner des chômages beaucoup trop longs, bie plus longs que ceux de soixante jours correspondant l'allongement d'une écluse.

Il fallait donc conserver le plafond ancien et procé par relèvement de $0^m,60$ du plan d'eau.

On doit aussi noter qu'alors même qu'il s'agirait d' aqueduc sous canal d'une importance faible ou moyen on ne peut toujours affirmer qu'il soit possible d'abais cet ouvrage ; il faut, avant tout, assurer l'écoulem normal des eaux naturelles, et on ne peut réaliser abaissement de ce genre qu'après une entente avec service hydraulique.

Quand on procède par relèvement, on peut toujours, au contraire, arriver à une solution, en exhaussant et en renforçant convenablement les digues et les autres ouvrages sous cuvette.

De plus, l'achèvement des travaux de ce genre peut se faire en dehors des chômages pour toute la partie située au-dessus de l'ancien plan d'eau. On reste maître de choisir le moment du relèvement de cet ancien plan d'eau, et on n'y procède que quand on est parfaitement assuré des conditions de résistance et de stabilité des travaux exécutés.

Un second cas qui se présente est celui des biefs où débouchent des rigoles alimentaires.

A la vérité, le canal latéral tire à ses origines une grande partie de ses ressources alimentaires du canal de Roanne et du canal du Centre.

Le premier envoie ses eaux par l'intermédiaire de l'écluse des Beugnets dans son dernier tronçon, qui communique librement avec le canal latéral. Le relèvement du plan d'eau dans le bief de ce dernier canal, le bief de Thaleine, en communication avec le canal de Roanne, n'influe donc que dans des proportions insignifiantes sur le débit de l'écluse des Beugnets.

Le second de ces deux canaux, le canal du Centre, envoie ses eaux dans le bief de Digoin, qui communique librement avec le canal du Centre, où le plan d'eau a déjà été relevé à $2^{m},20$. Par suite, le relèvement du plan d'eau dans le bief de Digoin au canal latéral ($0^{m},60$) n'est que la conséquence forcée du relèvement analogue effectué également au canal du Centre.

Ce relèvement de $0^{m},60$ était d'ailleurs commandé par la présence, dans ce bief, du grand pont-canal de Digoin. Dans ces conditions, tout abaissement du plafond était impossible.

Mais nous avons, en dehors de ces deux cas spéciaux

de l'alimentation du canal latéral par des canaux situés dans leur ensemble à une altitude plus élevée que celle du canal latéral, cinq biefs où débouchent des rigoles alimentaires absolument distinctes des voies navigables proprement dites.

Il faut alors :

Ou conserver l'ancien plan d'eau dans les biefs ;

Ou examiner si le système d'alimentation du canal ne doit pas être changé ; car le relèvement du plan d'eau peut rendre cette alimentation plus difficile.

On n'a pas voulu, dans trois cas, ceux des biefs de Fleury (rigole de prise d'eau des rivières l'Acolin et l'Abron), de Jaugenay (débouché à niveau dans le canal de la rivière la Colâtre), de Laubray (prise d'eau des Lorrains formant embranchement du canal), se lancer dans les aléas et les dépenses que comporte la seconde hypothèse, et on a préféré recourir à un approfondissement du plafond de $0^m,60$. Cette combinaison entraîne des terrassements assez importants.

On a été assez heureux pour éviter de se heurter, dans tous les biefs se trouvant dans ce cas, à des difficultés provenant de l'abaissement des ouvrages sous cuvette et que nous venons de signaler plus haut :

Pour les biefs des Bessais, prise d'eau de la Bêbre formant embranchement, de Thauvenay, nouvelle rigole des Boisseaux, on a pu relever le plan d'eau sans inconvénient de $0^m,40$ et de $0^m,60$.

La rigole navigable de la Bêbre, qui débouche dans le bief des Bessais, prend son origine dans la partie supérieure non navigable de cette même rigole. Les deux parties, navigable et non navigable, communiquent entre elles par une vanne dont le débit est assuré par une chute de $0^m,52$.

Par conséquent, le relèvement du plan d'eau du bief des Bessais, relèvement s'élevant à $0^m,40$, a pu être effec-

tué sans toucher au système lui-même de la prise d'eau; il n'en résulte qu'une diminution insignifiante dans le débit du vannage en question.

Quant aux Boisseaux, il s'agit d'une prise d'eau nouvelle.

On a acheté la rigole d'amenée du moulin des Boisseaux. ainsi que cette usine; on a adapté cette rigole à son nouveau rôle de rigole alimentaire du canal, tant en améliorant et en régularisant sa section transversale qu'en la faisant déboucher dans le bief de Thauvenay, bien avant son arrivée au moulin, et cela sans qu'on ait besoin de modifier les ouvrages de prise d'eau à l'origine, grâce à une pente suffisante dans la rigole.

L'ancienne rigole aboutissait, au contraire, à la chute du moulin des Boisseaux, chute maintenant acquise par l'État, débouchant dans le bief de Bannay, situé immédiatement en aval du bief de Thauvenay.

Il s'agit donc là d'un système complémentaire d'alimentation établi entièrement à neuf et postérieur au relèvement du plan d'eau du canal.

Le relèvement du plan d'eau dans le bief de Thauvenay a été justifié primitivement et en dehors de toutes ces considérations postérieures par la présence, dans ce bief, des ponts-canaux du Moule et de la Vauvize.

Mais ces deux cas des rigoles alimentaires de la Bèbre et des Boisseaux n'en restent pas moins des exceptions dues à des circonstances particulières et, en général, il est préférable d'accepter l'inconvénient des terrassements importants, conséquence de l'approfondissement de $0^m,60$ donné au plafond plutôt que de s'engager dans un remaniement du système de prise d'eau et de prendre l'eau à un niveau plus élevé, c'est-à-dire dans des conditions d'abord coûteuses par le fait de l'établissement d'ouvrages de prise d'eau entièrement neufs et ensuite moins favorables, puisqu'il s'agit, dans cette hypothèse, de recueil-

lir et de dériver les eaux prises à un niveau supérieur.

On conçoit, du reste, facilement que ni l'une, ni l'autre de ces deux solutions, qui sont imposées par les circonstances et qui consistent dans une élévation du plan d'eau de $0^m,60$ ou dans un abaissement du plafond de même hauteur, ne soit la solution la plus économique et la plus facile à réaliser.

La combinaison la meilleure sous le rapport de l'économie, de la facilité et de la rapidité d'exécution a été de combiner un relèvement du plan d'eau de $0^m,40$ avec un abaissement du plafond de $0^m,20$.

Cet abaissement n'entraîne presque jamais de difficultés pour les ouvrages inférieurs, d'autant plus que par économie et pour éviter de trop longs chômages, on a laissé provisoirement subsister la plupart des aqueducs sous cuvette, alors même qu'ils font saillie sur le nouveau plafond, pourvu que cette saillie ne dépasse pas $0^m,20$.

On ne doit pas perdre de vue, en effet, que le tirant d'eau maximum autorisé sur les canaux du grand type français est $1^m,80$. Ces bateaux circulent à la rigueur dans des cuvettes ne présentant que 2 mètres de profondeur. On réalise $2^m,20$ en vue de créer une zone supplémentaire de $0^m,20$ dans laquelle pourront s'accumuler les dépôts de vases, tout en laissant un mouillage bien net de 2 mètres, et l'entretien consistera à dévaser périodiquement cette zone de $0^m,20$ au-dessous du mouillage de 2 mètres.

Donc il n'y a pas d'inconvénient sérieux à ce qu'un point isolé (l'extrados d'une voûte) forme une saillie de $0^m,20$ sur le nouveau plafond. Aucun dépôt de vase ne peut se former et séjourner sur cette surface présentant sa convexité vers le haut.

Si parfois on voulait faire passer des bâtiments de la Marine nationale calant 2 mètres, il serait toujours facile, avec l'alimentation abondante qui caractérise le canal

latéral en temps d'alimentation normale, de surélever, à titre essentiellement exceptionnel et transitoire, le plan d'eau normal de 0m,10, de manière à éviter que ces bâtiments ne viennent heurter les extrados des anciens aqueducs conservés sous la cuvette.

En résumé, le canal latéral entre Digoin et Maimbray comporte trente-six biefs.

Sur ces trente-six biefs on a réalisé le mouillage de 2m,20 :

Par exhaussement du plan d'eau de 0m,60, dans......	9 biefs
Par approfondissement du plafond de 0m,60, dans....	3 —
Par exhaussement du plan d'eau de 0m,40 combiné avec approfondissement du plafond de 0m,20, dans......	24 —
Total égal.................	36 biefs

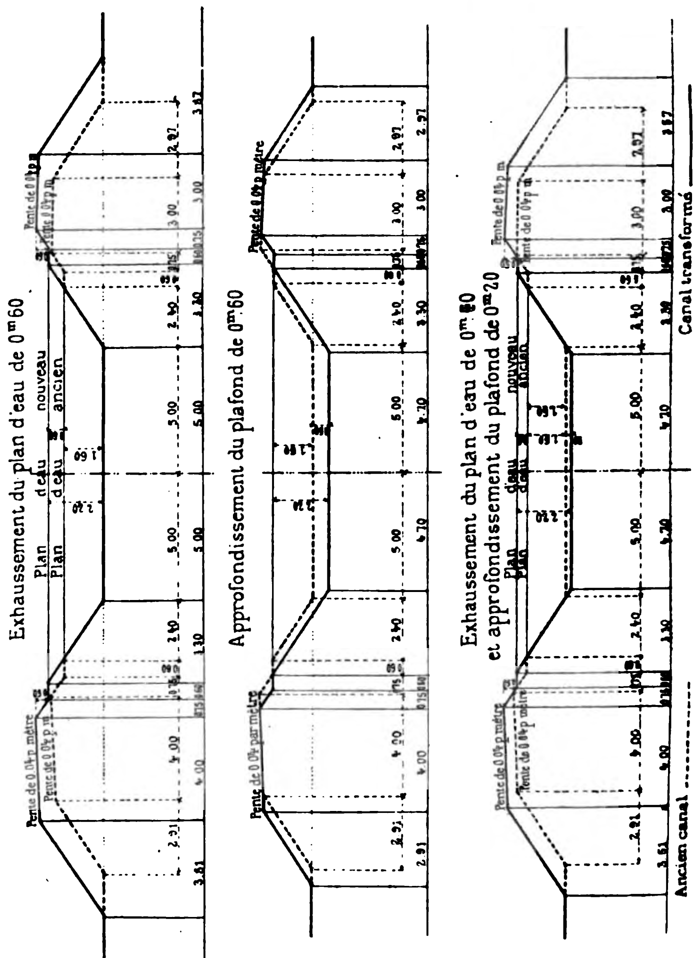
Nous donnons ci-dessous les profils en travers comparatifs de l'ancien et du nouveau canal dans les trois cas de l'exhaussement du plan d'eau de 0m,60, de l'approfondissement du plafond de 0m,60 et de l'exhaussement du plan d'eau de 0m,40 combiné avec un abaissement du plafond de 0m,20.

Les terrassements à effectuer s'élèvent théoriquement, par mètre courant, et en supposant le canal établi en terrain plat, le plafond à la hauteur du sol naturel, à :

13m3,30	de remblais	dans le premier cas ;
9 70	de déblais	dans le second cas ;
2 35	de remblais	
1 94	de déblais	dans le troisième cas.
8 67	de remblais	

Ces chiffres varient avec la position de l'ancienne cuvette à flanc de coteau en grand remblai ou en grande tranchée. Il faut noter enfin que, souvent, on ne peut compter sur les déblais provenant de la recoupe et de l'approfondissement de la cuvette, parce que ces déblais sont vaseux et sans consistance suffisante.

Et, de plus, en les enlevant, on a souvent privé la cuvette de corrois ou d'une couche de terre entièrement



colmatée et, par suite, très précieuse. On a donc eu à obvier à des consommations d'eau anormales et impossibles à prévoir *a priori* et même souvent à des filtrations

dangereuses pour la stabilité des digues, comme conséquence de ces recoupes de la cuvette. De là la nécessité d'étanchements assez importants qui n'ont pu être définitivement arrêtés et exécutés qu'après l'achèvement du gros œuvre des terrassements dans chaque lot et en prenant pour point de départ les résultats de l'expérience.

Les prix de ces revêtements intérieurs de la cuvette étaient variables suivant les circonstances locales.

On peut prendre comme prix moyen, par mètre carré de talus protégé, tous frais de fouille et de pilonnage compris :

Pour les corrois de $0^{m},40$ d'épaisseur.............	2 francs
Pour les bétonnages de $0^{m},15$ d'épaisseur.........	4 —
Pour les perrés maçonnés de $0^{m},30$ d'épaisseur....	9 —

Nous terminerons cet exposé des travaux de terrassements en donnant un aperçu sommaire des dispositions spéciales qui ont dû être adoptées en certains points du canal :

1° Au bief de Saulx, où l'on a dû exécuter d'importants travaux d'étanchement et de consolidation ;

2° Aux grands remblais du Guétin.

A Saulx, le canal est assis sur une couche de tourbe, et, lorsqu'on a essayé d'élever la tenue, la digue en saillie sur le sol naturel du côté de la vallée a éprouvé des fissures et des mouvements.

On a dû :

1° Capter les eaux en provenance du coteau par un fossé longitudinal qui se prolonge jusqu'au premier aqueduc sous cuvette situé en aval ;

2° Rendre la cuvette étanche par un bétonnage complet des parois et du plafond. Le bétonnage du plafond a été établi sur un sol préalablement assaini par des pierrées ;

3° Renforcer la digue en question au moyen d'une risberme de 2 mètres, disposée à $1^{m},44$ au-dessus du pla-

fond. Au-dessous de cette risberme, le talus extérieur a été revêtu d'un perré à sec.

Au Guétin, les grands remblais aux abords et à l'amont du pont-canal avaient été exécutés pour une voie de bateau.

C'est là une disposition prudente avec des remblais récents et qu'on retrouvait assez généralement dans notre région, lorsque la hauteur des remblais sous le plafond atteignait plus de 4 à 5 mètres, comme au Guétin, ou même dépassait ce chiffre.

Ces remblais étant parfaitement assis depuis cinquante ans, et d'excellente qualité, il était naturel de songer à l'élargissement de la cuvette de manière à restreindre le passage rétréci pour une voie de bateaux aux 380 mètres du pont-canal et aux 90 mètres de l'écluse triple à la suite.

Seulement nous avons imposé à l'Ingénieur la condition que, après les recoupes intérieures, il devrait rester en tous points au niveau du plan d'eau au moins 2 mètres de largeur de l'ancienne digue non remaniée, ce qui conduit à une dimension analogue de 8m,60 au niveau du plafond, avec des talus de 3 de base pour 2 de hauteur.

En comptant les terres de recoupes rejetées à l'extérieur, la largeur des digues dans ces grands remblais est actuellement :

En couronne	4m,85
Au niveau du plan d'eau........	6 70
Au niveau du plafond...........	13 30

la largeur totale des grands remblais à la base est de 50 mètres, soit 25 mètres de chaque côté de l'axe.

En considérant les travaux d'étanchement dans leur ensemble, on peut dire que les corrois nouveaux ont été constitués en argile battue et pilonnée, appliquée sur les talus par couches horizontales, de manière à présenter

une épaisseur de $0^m,30$ dans le sens perpendiculaire au talus, le tout recouvert d'une couche de terre végétale pilonnée de $0^m,30$ d'épaisseur dans cette même direction.

Les bétonnages étaient constitués par une couche de béton de $0^m,15$ d'épaisseur revêtus d'une chape de $0^m,02$, et le tout placé comme les corrois précédents sous une couche de terre végétale de $0^m,30$ d'épaisseur à la base et de $0^m,50$ environ au niveau du plan d'eau.

Dans les deux cas, la fouille atteignait une profondeur moyenne de $0^m,60$, perpendiculairement à la surface protégée.

La transformation du canal de Digoin à Maimbray a exigé, en fait, l'exécution de 1.245.932 mètres cubes de terrassements, soit, pour $190^{km},415$, $6^{m3},543$ par mètre courant.

Le nouveau bief de Briare avait exigé, d'autre part (Voir le mémoire précité), 1.825.436 mètres cubes de terrassements.

Par suite, la réalisation du mouillage de $2^m,20$ sur le canal latéral avec ses deux traversées indépendantes de la Loire à Digoin et à Briare, et sa traversée indépendante de l'Allier au Guétin, a exigé : 3.071.368 mètres cubes de terrassements, en dehors de ceux qui avaient été exécutés autrefois pour réaliser l'ancien mouillage de $1^m,60$.

CHAPITRE III.

Allongement des écluses.

Le canal latéral comptait trente-huit écluses sur sa ligne principale de Maimbray à Digoin, en comptant pour trois l'écluse triple de Guétin à trois sas accolés. Toutes ces écluses devaient être portées à $35^m,50$, tout en con-

servant leur largeur normale de 5^{m},20, admise sur tout le réseau des canaux français.

Cet allongement pouvait se faire par l'amont ou par l'aval.

Quand l'écluse était accolée à un pont-canal, et dans ce cas elle est toujours située en aval de cet ouvrage, l'allongement par l'aval s'imposait. Ce cas s'est présenté cinq fois. Parfois aussi les sondages ont fait conclure à l'allongement d'un côté plutôt que de l'autre, en raison de la meilleure nature du terrain et de la moins grande quantité des épuisements à craindre. Enfin, dans quelques cas, les courbes situées d'un côté des écluses ont fait préparer l'allongement du côté opposé où le tracé était en ligne droite et en prolongement de l'écluse. En dehors de ces cas caractéristiques, on a pu voir, d'une manière générale, des tendances à l'allongement par l'amont en vue d'éviter des fouilles plus profondes, un cube de maçonnerie plus considérable à effectuer et des épuisements plus importants.

Toutes les fois que l'écluse a été allongée par la tête amont, cette écluse a été pourvue de vannes cylindriques. Ce genre de vannes ayant été déjà décrit dans les *Annales*, nous n'avons pas à insister à son sujet.

Pour les écluses allongées par l'aval, tantôt on a disposé des vannes cylindriques près des portes aval pour la vidange de l'écluse, et dans cette combinaison on ne touchait pas aux portes amont; tantôt on s'est abstenu de disposer des vannes cylindriques dans les nouvelles maçonneries d'aval, et on a continué à se servir pour la vidange de l'écluse des ventelles des portes d'écluse, et on a établi des vannes cylindriques près des portes d'amont.

On justifie cette dernière combinaison en faisant remarquer que c'est surtout le remplissage par les ventelles des portes d'amont qui est incommode pour les bateaux

et dangereux pour les marchandises contenues dans ces bateaux. Ces marchandises peuvent être inondées par le jet des eaux de remplissage dans le cas d'une manœuvre un peu brusque. Au contraire, la vidange de l'écluse n'entraîne aucun de ces inconvénients.

Dans aucun cas nos écluses ne comportent des vannes cylindriques aux deux paires de portes, et cela simplement par raison d'économie. Le canal latéral est le dernier qui restait à transformer dans la région du Centre. Sa transformation a été opérée à une époque où les difficultés budgétaires ont été sans cesse en croissant, sinon pour toutes les administrations, du moins pour la navigation intérieure. Et l'on peut juger par là de l'esprit d'économie qui a présidé à la préparation des projets et à l'exécution des travaux. On n'a fait que l'essentiel, pour atteindre le but que se proposait l'Administration : la circulation de bateaux de 300 tonnes dans un canal ayant un mouillage de $2^m,20$, tout en assurant pleine sécurité tant pour les usagers de ce canal que pour les propriétés riveraines.

En outre des trente-huit écluses primitivement situées sur la ligne principale et réduites maintenant à trente-sept par suite de la transformation de l'écluse triple du Guétin en écluse double, on rencontre, au canal latéral, douze écluses situées sur neuf de ses embranchements.

On a allongé également à $38^m,50$ toutes les écluses permettant d'ouvrir les embranchements à la circulation des bateaux de $38^m,50$, à l'exception des parties de l'ancien canal latéral récemment classées dans le département du Loiret comme embranchements (embranchements de Châtillon-sur-Loire, des Combles et de Baraban), remplacés par le nouveau bief de Briare. Il s'agit là, en effet, de deux tracés dont l'un devient absolument secondaire, dans la même direction.

En vertu de ces principes, dans l'embranchement de Decize, on a compris dans le projet primitif l'allongement

de l'écluse de Saint-Maurice, située à l'origine de cette branche de canal.

Il en a été de même des deux écluses de Verville et de Rombois, situées sur l'embranchement de Nevers et de l'écluse de Crille, située à l'origine de l'embranchement de Givry.

On avait, par contre, exclu du programme de l'allongement toutes les écluses de descente en Loire, en raison du peu d'importance de la navigation de ce fleuve, qui, ne pouvant assurer, en général, la circulation des bateaux de 30 mètres, avait encore moins à pourvoir à la circulation des bateaux de 38m,50.

C'est ainsi que furent laissées, dans leur état primitif, les écluses de descente en Loire à Decize, à Nevers, à Givry et à Saint-Thibault.

Ces considérations générales s'appliquent sans contestation possible aux écluses de descente en Loire, de Nevers et de Saint-Thibault, qui débouchent dans une partie de la Loire où le fleuve est laissé à son état naturel.

Mais on avait été trop rigoureux pour l'écluse de descente en Loire de Decize, qui débouche dans la zone de la retenue du barrage de Decize, qui assure la communication au moyen de ce bief exceptionnellement canalisé dans la Loire entre les deux canaux du Nivernais et latéral à la Loire.

Il fallait rendre possible l'allongement des écluses du canal du Nivernais, et d'ailleurs il était logique de rendre accessibles aux bateaux de 38m,50 les divers ports établis tout autour de Decize dans son voisinage immédiat.

L'allongement est d'ailleurs déjà commencé au canal du Nivernais et, par suite, on ne pouvait surseoir à l'allongement de l'écluse de descente en Loire à Decize. Cette opération fut réalisée au chômage de 1897.

Quant à l'écluse de descente en Loire, à Givry, qui débouche à l'origine non d'une retenue de barrage,

d'un resserrement du lit de la Loire entre des digues basses en vue d'assurer pratiquement, autant qu'il est possible, la circulation aux bateaux sans trop d'allègement entre le canal et ses embranchements à Givry, d'une part, et, d'autre part, le groupe des usines de Fourchambault.

L'allongement de l'écluse de descente en Loire de Givry serait donc logique. Malheureusement il se trouve actuellement subordonné à une demande de concours des usines de Fourchambault, concours que ces usines ne veulent pas donner pour une opération qui leur paraît simplement un oubli dans le programme primitif, et qui pourrait y être rattachée.

Il est certain qu'on rattache souvent à des programmes primitifs des opérations plus coûteuses et moins justifiées que celles-là, et l'on ne doit pas désespérer que l'on ne répare un jour cette exclusion du programme primitif de l'allongement de l'écluse de descente en Loire de Givry, inspirée surtout par un motif d'économie et en vue de faire plus facilement admettre le surplus du projet.

Les écluses qui doivent logiquement être maintenues à 30 mètres sur le canal latéral sont, outre les écluses de descente en Loire de Nevers et de Saint-Thibault, des écluses remplacées au canal latéral par le nouveau bief de Briare, savoir : l'Etang, la Folie, Châtillon (descente en Loire), sur la rive gauche de la Loire ; et les Combles, sur la rive droite du fleuve.

Toutes les autres écluses du canal, au nombre de trente-sept sur la ligne principale et cinq sur les embranchements, soit quarante-deux en tout, ont été portées à $38^{m},50$, sauf l'écluse de Givry, qui reste la quarante-troisième et dernière à allonger encore.

Parmi ces quarante-deux écluses, les deux nouvelles écluses accolées du Guétin méritent une mention à part et ont fait l'objet de travaux spéciaux équivalant à une reconstruction entière, comme on le verra plus loin.

Sur les quarante autres on en a allongé :

Par l'amont..............	25
Par l'aval................	15
Total................	40

L'expérience a constamment prouvé que ce travail d'allongement d'écluses exigeait soixante jours, bien que nous n'ayons jamais rencontré de sol exceptionnellement mauvais qu'il eût fallu consolider avec des pilotis. On a pu heureusement fonder les parties neuves des écluses tantôt sur l'argile, tantôt sur le sable, c'est-à-dire sur des terrains incompressibles et qu'on peut, dans le cas d'une écluse de canal, mettre à l'abri de tout affouillement. Dans quelques cas seulement, nous avons eu à enlever des poches vaseuses ou tourbeuses jusqu'au terrain solide et à remplacer les terres molles par un remplissage en moellons secs.

Les dernières maçonneries n'étaient terminées que quelques jours avant la mise en eau ; aussi souvent a-t-il fallu, par prudence, substituer le ciment de Portland à la chaux hydraulique, afin d'être assuré que la prise se soit produite avant que les maçonneries soient exposées à l'action physique ou dynamique des eaux.

A l'écluse de Thauvenay, où la chute est de 3^{m},75 et où, par suite, les sous-pressions s'exerçant sur le radier étaient plus fortes que dans les cas ordinaires correspondant aux chutes de 2^{m},50 et 3 mètres, la mise en service de l'écluse, quelques jours seulement après l'achèvement des dernières maçonneries a eu pour effet d'entraîner quelques légères avaries aux maçonneries trop fraîches du radier.

Heureusement l'écluse a pu fonctionner régulièrement jusqu'au chômage suivant où l'on a repris les parties désagrégées du radier pour les reconstruire en bon état;

on a en même temps contrarié la marche des infiltrations provenant du bief d'amont par des parafouilles exécutés en avant de la tête amont de l'écluse.

L'allongement des écluses a donné lieu à deux découvertes intéressantes à l'occasion de la démolition de certaines parties des têtes, en vue d'assurer la liaison et la continuité des maçonneries.

A l'écluse de Saulx, on a trouvé une pierre de taille sur laquelle on a relevé l'inscription suivante :

PREMIÈRE PIERRE DE L'ÉCLUSE DE SAULX.

M. VIGOUREUX, Ingénieur en chef,
M. BELIN, ingénieur ordinaire.

A l'écluse de Fleury, on a trouvé, dans une excavation pratiquée dans une des pierres de taille, une plaque en cuivre portant l'inscription suivante :

L'AN MIL HUIT CENT VINGT-SEPT, LE 3e DU RÈGNE
DE SA MAJESTÉ CHARLES X, ROI DE FRANCE ET DE NAVARRE.

Suivent les noms :

De M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS ;
De M. WALKENAER, Préfet de la Nièvre ;
Du SOUS-PRÉFET DE NEVERS (fonction qui est devenue plus tard celle de Secrétaire général);

puis de :

MM. BECQUEY, Directeur général des Ponts et Chaussées,
VIGOUREUX, Ingénieur en chef,
BELIN, Ingénieur ordinaire,
VIALLA, Conducteur des Ponts et Chaussées,
MICHEL, Entrepreneur.

L'excavation contenait une boite en plomb remplie de poudre de charbon ayant l'aspect extérieur d'une boite à mitraille. Au centre de cette boite était une urne en

bois qui renfermait les pièces suivantes, admirablement conservées, toutes au millésime de l'année de la fondation de l'écluse, année citée sur la plaque en cuivre ; ces pièces étaient superposées à l'intérieur de l'urne dans l'ordre suivant leur ordre de grandeur :

5	francs. —	Argent
2		Argent
10		Or
1		Argent
20		Or
1/2		Argent
1/4		Argent.

On voit donc qu'en 1827 la fondation d'une écluse du canal latéral à la Loire était considérée comme une cérémonie importante à laquelle étaient représentées ou citées de hautes autorités et que, dès cette époque, les Ingénieurs avaient renoncé à l'amélioration radicale de la navigation dans le lit même du fleuve, tout au moins pour la Loire centrale.

L'écluse de Digoin, qui a $3^m,90$ de chute, présente cette particularité qu'elle a été fondée au moyen d'empattements d'ailleurs importants sur des remblais sablonneux qu'on pouvait sans doute, dès l'époque de la construction, considérer comme incompressibles.

On y a trouvé, du reste, des maçonneries de genres très différents et des massifs additionnels qui attestent qu'on n'est arrivé à assurer la parfaite stabilité de cet ouvrage qu'après avoir pris de nombreuses précautions. Mais on n'a trouvé trace d'aucun pilotis sous les maçonneries, bien que ces maçonneries ne descendent pas jusqu'au sol naturel. Les dimensions du remblai mettent d'ailleurs ses fondations à l'abri de tout danger.

L'allongement à $38^m,50$, établi sur des remblais de bonne qualité comptant plus d'un demi-siècle, s'est effectué comme s'il s'agissait de terrains de déblais, et on n'a

éprouvé d'autres difficultés que celles provenant des étrésillonnages et de la rapidité d'exécution dans un délai particulièrement court, étant donné un massif plus important à exécuter dans le même délai de soixante jours.

CHAPITRE IV.

Transformation des ouvrages sous la cuvette.

On rencontre, presque à l'origine du canal latéral, un premier grand pont-canal au moyen duquel cette voie d'eau se relie au canal du Centre, de manière à assurer la ligne navigable continue de Paris à Lyon par le Bourbonnais, dans des conditions indépendantes de notre grand fleuve à régime torrentiel, la Loire.

Le pont-canal de Digoin présente onze arches de 16 mètres d'ouverture chacune, soit une ouverture linéaire nette totale de 176 mètres. Les piles intermédiaires, au nombre de dix, ont chacune 3 mètres d'épaisseur aux naissances, la distance entre culées est de 209 mètres, et la largeur totale entre les extrémités des parapets est de 243^{m},30. L'ouvrage présentait, comme tous les canaux de la région du Centre avant les récentes transformations, un mouillage de 1^{m},60.

Ce pont-canal débouche librement d'un côté dans la tranchée ouverte pour le canal, dans le coteau de Digoin; de l'autre, dans une partie de canal en grand remblai, longue de 100 mètres à partir de l'extrémité des parapets du pont et au bout de laquelle on trouve l'écluse de Digoin.

Le pont-canal de Digoin est donc isolé de tout autre ouvrage d'art.

Il s'agissait de relever le plan d'eau de 0^{m},60 sur cet important ouvrage.

En outre, il fallait obtenir ce résultat sans nuire à l'aspect monumental de l'ouvrage.

On y est parvenu en enlevant la plinthe et en la reposant, moins les pierres de taille hors d'usage, sur les bajoyers exhaussés de $0^m,60$ et pourvus de consoles mesurant $0^m,25$ de largeur sur $0^m,60$ de hauteur, faisant saillie de $0^m,367$ et laissant entre elles un espace de $0^m,54$, dans lequel la maçonnerie était élevée suivant l'ancien plan de tête.

La saillie totale de la corniche, qui était primitivement de $0^m,35$, passait à $0^m,717$ et, grâce à la pose des plinthes au-dessus des consoles, les chemins de halage pouvaient recevoir une largeur de 2 mètres, tandis que la largeur primitive ne comptait que $1^m,70$.

L'ensemble des plinthes et des consoles forme une sorte d'entablement de $1^m,25$ de hauteur totale correspondant à la nouvelle hauteur totale de $11^m,35$ au-dessus du socle; tandis que l'ancien couronnement n'avait que la hauteur des plinthes, soit $0^m,65$ pour une hauteur de $10^m,75$ de l'ancien ouvrage au-dessus du socle.

On conçoit donc que le nouvel ouvrage paraisse avoir un couronnement vigoureux et bien proportionné et ne semble pas d'aspect plus lourd que l'ancien. La vue de l'ouvrage transformé a confirmé cette impression d'une manière générale, et nous n'avons entendu aucune observation à ce sujet. On pourra, du reste, en juger par les dessins de la planche 14.

Examinons maintenant les conséquences de la transformation à l'intérieur de l'ouvrage.

L'épaisseur minimum des voûtes, minimum qu'on rencontre à la clef, est de $1^m,30$. L'augmentation de mouillage portant la surcharge par mètre carré de surface couverte de 1.600 à 2.200 kilogrammes, soit 600 kilogrammes par mètre carré et $0^{kg},06$ par centimètre carré, n'a pas paru de nature à augmenter dans une proportion

notable et encore moins dans une proportion dangereuse, les pressions en aucune partie de l'ouvrage à la clef, aux naissances ou sur le sol de fondation. La question n'a même pas été soulevée, soit dans les rapports des ingénieurs, soit dans les conseils de l'Administration. L'expérience a d'ailleurs vérifié qu'on avait eu raison de ne pas se préoccuper, outre mesure, de cette légère augmentation des pressions.

Quant aux bajoyers de la cuvette, leur épaisseur moyenne était de $1^m,85$, soit 84 0/0 de la hauteur, et, avec le nouveau mouillage, cette proportion s'abaisse à 64 0/0. Ces proportions restent entièrement rassurantes.

Ce n'était donc pas sous le rapport de la stabilité qu'on pouvait craindre les effets de l'augmentation du mouillage; mais il n'en était pas de même sous le rapport de l'étanchéité, qui laissait à désirer déjà lorsque la transformation fut entreprise et qui devint tout à fait insuffisante lorsque le nouveau mouillage fut réalisé.

Les grands ponts-canaux, en raison soit de l'ouverture relativement importante de leurs arches, soit du grand nombre de ces arches et des dimensions considérables du massif de maçonneries qui les constitue, subissent notablement plus que les petits aqueducs l'influence des dilatations sous l'action de la chaleur. Ils ne sont jamais absolument étanches et surtout autrefois avant que l'emploi des ciments à prise lente et sans retrait, tels que le portland, se fût répandu, on avait cherché et expérimenté, et jamais avec un résultat entièrement satisfaisant, un grand nombre de procédés.

Ces solutions anciennes avaient été plus particulièrement insuffisantes au pont-canal de Digoin.

On y rencontrait une chape en asphalte appliquée sur de grandes dalles de Volvic ayant $1^m,25$ sur $0^m,50$ et disposée également dans un plan presque vertical sur les côtés de la cuvette.

Mais la chape en asphalte s'était décollée sous l'influence de la dessiccation et de la différence de dilatation entre le revêtement bitumineux et la maçonnerie ; de plus, si les dalles de Volvic avaient pour effet de réduire, dans une grande proportion, le nombre des joints, cette amélioration devenait absolument inutile par ce fait que ces dalles elles-mêmes étaient perméables. La maçonnerie ordinaire, située en arrière des dalles, n'était pas plus étanche, et la maçonnerie de parement laissait également passer l'eau à travers les joints d'une manière très générale.

Les travaux furent exécutés en 1894.

Pendant une année ou deux, la situation se maintint médiocre au point de vue de l'étanchéité, mais sans s'aggraver.

Le mouillage de 2m,20 fut réalisé en 1893, et c'est surtout à partir de ce moment que les filtrations sur les parements des plans de tête prirent des proportions inquiétantes, au point de vue des effets possibles de la gelée sur ces parements.

Heureusement l'hiver 1895-1896 fut doux et, dès l'année 1896, l'on avait préparé un projet d'étanchement consistant :

1° Au plafond, dans un bétonnage de 0m,15 recouvert d'une chape ayant 0m,05 d'épaisseur ;

2° Sur les côtés, d'une maçonnerie ordinaire en ciment de Portland reliée par des arrachements aux vieilles maçonneries et ayant une épaisseur moyenne de 0m,40. Le parement intérieur du bajoyer était recouvert d'une chape de 0m,05.

Le tout logé dans la zone des vieilles maçonneries perméables après les démolitions nécessaires.

Toutes ces chapes, une fois bien sèches, furent recouvertes d'un goudronnage abondant dont on opère le renouvellement périodique.

Ce système donne jusqu'ici de très bons résultats.

Les murs de la cuvette, légèrement inclinés autrefois, ont été rendus verticaux, ainsi que l'indiquent les dessins déjà cités.

Aux abords de la cuvette, des murs en évasement raccordent cette cuvette avec les sections normales du canal en voie courante.

Les culées présentaient également des filtrations qui provenaient de la pénétration des eaux aux abords de l'ouvrage. Quelques travaux d'étanchement (revêtements étanches du plafond et des berges), combinés avec des clefs en maçonnerie, ont presque totalement fait disparaître ces inconvénients.

Avant la transformation, les sections mouillées, d'une part, des bateaux chargés à $1^m,40$ et, d'autre part, de la cuvette avec $1^m,60$ de mouillage étaient respectivement 7 mètres carrés et $9^{m2},20$; la section du bateau était donc de 76 0/0 de celle de la cuvette. Depuis la transformation, ces sections sont 9 mètres carrés et $13^{m2},44$, et la section du bateau est, par suite, 67 0/0 de celle de la cuvette.

Il y a donc amélioration sensible au point de vue de la facilité de traction.

La vitesse a peu varié. Les grands bateaux de 5 mètres mettent, en général, trente minutes pour traverser les 217 mètres où la cuvette est rétrécie, ce qui correspond à une vitesse de $7^m,20$ par minute, soit $0^m,12$ par seconde.

Les bateaux à vapeur sont autorisés à circuler sur le canal latéral à des vitesses maxima de 6 kilomètres. Dans un intérêt national on pourrait, à titre exceptionnel, porter cette vitesse à 10 kilomètres. Et actuellement un torpilleur type de 33 et 35 mètres, n'ayant pas plus de 5 mètres de largeur et 2 mètres de tirant d'eau, passerait plus facilement à bonne allure sur le pont-canal que les barques des anciens Normands ne pourraient passer sous ses arches en remontant à la voile, à la rame ou au croc, le

lit du fleuve aujourd'hui ensablé et peut-être plus irrégulièrement alimenté qu'autrefois.

Le premier pont-canal qu'on rencontre en aval de Digoin, à 4 kilomètres de distance dans la direction du Guétin, est le pont-canal sur la rivière « la Vouzance ».

Ce pont-canal se compose, à sa partie inférieure, de trois arches en arc de cercle de $5^m,20$ d'ouverture, chacune surbaissée à 1/5.

Ces trois arches supportaient une plate-forme en pierre de taille sur laquelle on avait disposé une bâche en fonte formant la cuvette pour une voie de bateaux et les chemins de halage (Voir pl. 14); les diverses pièces de fonte étaient assemblées par des boulons.

Ce système curieux laissait à désirer sous le rapport de l'étanchéité, de la rigidité des assemblages et de la résistance aux chocs soit des bateaux, soit des gaffes. Néanmoins il a eu le mérite d'être en service plus de cinquante-cinq ans.

En outre, les piles et culées avaient été fondées sur une plate-forme en béton immergé dans une enceinte de palplanches assez large pour qu'on pût allonger ces piles dans le sens de l'axe de la rivière. Les maçonneries étaient bonnes, aussi on allongea les piles sans retouches aux fondations et on élargit les voûtes suffisamment pour permettre de disposer sur chaque tête du pont un bajoyer de $1^m,86$ d'épaisseur moyenne, tout en réservant au milieu une cuvette de $6^m,54$ de large au niveau des trottoirs.

L'ouvrage qui est actuellement en maçonnerie se comporte très bien.

L'exhaussement des cinq autres ponts-canaux, situés entre Digoin et le Guétin, ne présente pas de particularité spéciale. Il a été effectué, d'après le même type que celui de Digoin, au moyen du relèvement de la plinthe au-dessus d'une série de consoles ayant $0^m,60$ de hauteur, sauf les deux exceptions indiquées ci-après.

Diverses parties des tympans et des parements de ces différents ouvrages, détériorés par les gelées ou les infiltrations ou les deux causes réunies, cas fréquent, ont été refaites à neuf.

On peut seulement citer le pont-canal de la Bêbre, à cause de l'importance de cet ouvrage.

Il se compose de cinq arches ayant chacune $12^{m},50$, ouvertures nécessaires, eu égard au régime torrentiel et à l'étendue du bassin de la Bêbre, rivière qui descend du plateau de l'Auvergne. Ce débouché est d'ailleurs bien en harmonie avec les débouchés des deux ponts situés dans le voisinage immédiat du pont-canal, l'un pour le passage de la voie ferrée de Moulins à Mâcon, l'autre pour le passage du chemin de grande communication n° 15 du département de l'Allier.

Dans deux des ponts-canaux en question, ceux de l'Acolin et de l'Abron, non loin de Decize, on a économisé les consoles. L'aspect de l'ouvrage est nécessairement un peu plus lourd après la transformation ; mais ces ponts-canaux se trouvent en des points assez isolés, et cet inconvénient ne présente pas d'importance.

Les voûtes de tous ces ponts n'ont eu besoin, en général, que de réparations partielles ; toutefois une des arches du pont-canal de l'Acolin avait ses maçonneries pourries sur toute la moitié de la voûte attenant à la culée Nord. On cintra cette voûte, on démolit les maçonneries avariées, et l'on reconstruisit une moitié de voûte entièrement neuve, qui s'est parfaitement reliée à la partie ancienne. Actuellement cette arche ne laisse rien à désirer, tant sous le rapport de la stabilité que sous celui de l'étanchéité.

Ce qu'il y a de remarquable dans l'ensemble du canal, c'est le nombre et l'importance de ces ouvrages sous cuvette.

En aval du pont-canal du Guétin, qui compte dix-huit

arches de 16 mètres d'ouverture, nous rencontrons encore trois ponts-canaux jusqu'à l'écluse de Maimbray où commence le bief neuf de Briare.

L'un de ces ponts-canaux, celui de Maimbray établi avec des arches assez longues et assez basses, a pu n'être pas retouché à l'occasion de la transformation.

Les deux autres, établis pour les rivières du Moule et de la Vauvize, étaient constitués par des bâches en fonte de faible portée se supportant elles-mêmes au moyen d'une palée centrale également en fonte.

Ces deux rivières ont des bassins étendus, mais situés dans la région exceptionnellement plate du bassin du Cher. Leur régime n'est donc pas torrentiel, et comme, d'autre part, on conçoit que le relief du canal au-dessus du sol naturel soit faible dans cette région, on les a reconstruits d'après le type d'un aqueduc-syphon entièrement en maçonnerie avec trompe de chaque côté.

Ces ouvrages ont été fondés sur un sol de gravier très résistant, où la seule difficulté a consisté dans les épuisements. On atteignait la nappe souterraine de la vallée de la Loire. Aussi il a fallu mettre en batterie, pour chacun d'eux, quatre ou cinq pompes à vapeur pour permettre l'exécution de la partie inférieure des maçonneries. On a, de plus, changé leur emplacement, afin de gagner du temps. A l'un des chômages, on a construit les nouveaux ouvrages, et, au chômage suivant, on a démoli les anciens ponts-canaux. On a naturellement dévié les rivières en conséquence. Ces dérivations, établies dans une région aussi plate, et étudiées d'ailleurs très rationnellement, n'ont exercé aucune influence fâcheuse sur le régime de ces petits affluents de la Loire, pas plus que leur passage en syphon sous le canal.

Mais tous les autres ponts-canaux importants, conformément aux idées admises dans les Congrès internationaux de navigation, ont été maintenus pour une voie de

bateaux, et il n'a pas été nécessaire de retoucher leurs fondations, ce qui a économisé beaucoup de temps et d'argent.

Nous pouvons donner une idée de l'importance de cette série d'ouvrages exceptionnels qui assurent le passage de la cuvette au-dessus des divers cours d'eau en groupant, dans le tableau suivant, les principales données relatives aux ouvrages de cette nature qui s'étendent entre Digoin et Maimbray.

	NOMBRE d'arches	OUVERTURE	ÉPAISSEUR des voûtes à la clef	DÉBOUCHÉ linéaire net	DISTANCE entre les parements intérieurs des culées	LONGUEUR totale de l'ouvrage, culées comprises
Grand pont-canal de Digoin	11	16m,00	1m,30	176m	209m	243m,30
Pont-canal de la Vouzance	3	5 20	1 19	15 60	19 80	35 80
Pont-canal de l'Oddes	3	3 50	0 76	10 50	12 84	22
— du Roudon	2	7	1 20	14	17 20	39 25
— de la Bèbre	5	12 50	1 08	62 50	75 36	103 33
— de l'Acolin	3	9	1 12	27	30	42 25
— de l'Abron	3	6	0 93	18	21 20	26 24
Grand pont-canal du Guétin	18	16	1 40	288	343 06	378 66
Pont-canal du Moule (reconstruit à neuf)	2	5	0 70	10	11 20	17 20
Pont-canal de la Vauvise (reconstruit à neuf)	1	5	0 70	5	5	11
Pont-canal de Maimbray	4	2 50	0 80	10	12 70	16 30
Totaux	55	»	»	636m,60	»	935m,33

Ajoutons maintenant à cette première série la série analogue ci-après relative aux ponts-canaux du nouveau bief de Briare.

	NOMBRE d'arches	OUVERTURE	ÉPAISSEUR des voûtes à la clef	DÉBOUCHÉ linéaire net	DISTANCE entre les parements intérieurs des culées	LONGUEUR totale de l'ouvrage, culées comprises
Pont-canal de l'Etang..	4	2m,50	0m,49	10m	12m,70	17m,52
— de Châtillon.	1	8	0 70	8	8	14 90
— de St-Firmin.	1	7	0 775	7	7	30
Grand pont-canal de Briare	16	15 travées de 40m,00 1 travée de 10m,15	»	556	598	662 69
Pont-canal de la Trézée	4	2m,40	0 20	9 60	12 60	18 40
Totaux...........	26	»	»	590m,60	»	743m,51

On arrive donc à cette conclusion que le canal latéral comporte seize ponts-canaux, dont trois tout à fait exceptionnels, et que cet ensemble d'ouvrages donne un total de quatre-vingt-une arches ou travées, une longueur cumulée de 1.227m,20 de débouché linéaire net sous cuvette, et de 1.678m,84, piles et culées comprises.

En outre, on rencontre cent vingt aqueducs sous canal de faible ouverture, qui ne se distinguent pas sensiblement des aqueducs sous route ou sous chemin de fer, sinon par leur grande longueur et qui tous ont été adaptés au nouveau mouillage. On a eu ainsi à organiser, en outre des chantiers considérables relatifs à la modification des ouvrages d'art importants, un grand nombre de petits chantiers.

Ce simple exposé suffit à faire ressortir combien, dès qu'on s'avance dans le Centre de la France, ces voies navigables ont à franchir de vallées et de cours d'eau, au moyen d'ouvrages d'art et, par suite, au moyen de remblais importants aux abords des ponts-canaux et, par conséquent, quels efforts et quels soins il a fallu au début pour construire et tout récemment pour transformer cette voie avec le mouillage de 2m,20, en assurant une entière

sécurité soit aux usagers du canal, soit aux personnes et aux biens dans les propriétés riveraines.

Il ne nous reste plus, pour terminer ce qui est relatif aux ponts et passages inférieurs à la voie d'eau, qu'à parler de la transformation du grand pont-canal du Guétin et des écluses accolées qui y font suite.

Nous n'aurons qu'à répéter pour ce grand et important pont-canal ce que nous avons dit à propos du pont-canal de Digoin au sujet de la conservation des voûtes, de l'exhaussement des bajoyers et de l'emploi des consoles de 0^{m},60.

Après que les anciennes plinthes ont été replacées sur les nouvelles consoles, la largeur de chacun des chemins de halage a pu être portée de 1^{m},75 à 2 mètres, dimension analogue à celle adoptée pour le pont-canal de Digoin.

L'étanchéité de la cuvette laissait notablement à désirer au Guétin, et l'on employa, en 1894, les procédés déjà décrits plus haut à propos de Digoin. C'est même le succès de ces procédés au Guétin qui détermina l'extension de leur application à Digoin.

Dans l'un comme dans l'autre cas, l'effet architectural de ces ouvrages, monuments en maçonnerie que nous ont légués les générations précédentes d'Ingénieurs, n'a pas été altéré, et nous pourrons léguer à nos successeurs ces mêmes ouvrages dans les mêmes conditions de stabilité et d'aspect.

Avant la transformation, les sections mouillées des bateaux chargés à 1^{m},40 et, d'autre part, de la cuvette avec 1^{m},60 de mouillage étaient sensiblement, comme à Digoin, de 7 mètres carrés et de 9^{m2},65 respectivement. La section mouillée du bateau était donc les 0,725 0/0 de celle de la cuvette. Depuis la transformation, ces sections sont 9 mètres carrés et 13^{m2},27. L'amélioration pour la traction des bateaux est donc sensiblement aussi accentuée qu'à Digoin.

Immédiatement à la suite de ce grand pont-canal du Guétin on rencontrait une écluse triple, trois sas étagés. de 30 mètres de longueur avec 3 mètres de chute chacun, compris entre deux bajoyers de 3 mètres d'épaisseur avec renforcement jusqu'à 8m,02 vis-à-vis les chambres des portes. Le tout constituait un immense éperon en maçonnerie situé entre la culée de rive gauche du pont-canal sur l'Allier et la levée longitudinale préservant le val et le village du Guétin contre les inondations de cette rivière.

A la suite de cet éperon, le canal passe sous la levée longitudinale et la route nationale qui la suit au moyen d'un tablier métallique supérieur au canal. L'éperon en maçonnerie qui constitue les écluses accolées du Guétin est fortement enraciné à son extrémité dans cette levée longitudinale.

Le pont-canal, l'écluse double et le pont-route à la suite constituent un long passage rétréci à une voie de bateau sur 481 mètres.

Dans cette opération difficile de la transformation des écluses du Guétin, il s'est présenté, à côté de nombreuses et graves difficultés, une circonstance favorable.

Le pont-canal, comme l'éperon en maçonnerie à la suite, avait été fondé sur un radier général et sur un radier général assez large pour recevoir à la fois le pont-canal et un pont-route accolé pour le passage au-dessus de la rivière d'Allier de la route nationale n° 76 de Nevers à Tours. Cet accolement du pont-route au pont-canal n'eut pas lieu, et l'on établit le pont-canal vers le milieu de ce radier général.

C'est ce qui explique qu'au droit de chaque pile et vis-à-vis toute la largeur de l'éperon, le radier général a reçu une largeur de 19 mètres, parallèlement à l'axe du canal, soit une revanche variant de 4m,50 à 4m,90 en dehors du plan de tête des voûtes et une revanche variant de 3m,70 à 4m,15 en dehors du parement extérieur de

anciennes écluses dans le profil moyen de chacun des trois sas anciens. Cette revanche se réduisait à $2^m,20$ et $2^m,65$ vis-à-vis les pilastres anciens correspondant aux anciennes chambres de portes.

Or il fallait, d'une part, que la navigation ne rencontrât plus que des sas de $38^m,50$; d'autre part, on ne pouvait allonger la série des sas en empiétant soit sur les arches du pont-canal et son débouché linéaire, soit sur la levée longitudinale de l'Allier et la route nationale dont elle forme l'assiette et derrière laquelle se trouvent les maisons et jardins du village et, en particulier, les maisons et jardins de l'Administration.

Le tracé d'une levée longitudinale ne peut d'ailleurs se modifier sur un seul point.

On ne pouvait donc songer qu'à remplacer les trois sas par une écluse unique de 9 mètres de chute ou une écluse double avec deux sas de $38^m,50$ et la chute totale divisée en deux chutes de $4^m,50$.

On a écarté la solution de l'écluse avec chute unique, parce qu'elle nécessitait un mode et des engins spéciaux pour la fermeture. Ces engins n'étaient pas encore entrés, en 1891, dans la pratique courante. Sur une ligne de navigation neuve et en construction, on aurait pu les essayer. Mais, obligé de les établir sur une ligne exploitée dans le délai très court des chômages et d'être assuré qu'ils fonctionneraient parfaitement à la reprise de la navigation, c'eût été courir un aléa trop grand, dans le cas où, pour quelque cause que ce fût, le succès n'aurait pas été complet, immédiat et définitif.

Au contraire, après l'expérience des écluses de 5 mètres de chute établies au canal du Centre de 1880 à 1890, la construction d'une écluse double avec des vantaux busqués dans les conditions ordinaires constituait une opération qui, au point de vue de la conception du projet, comme sous le rapport du poids, de la mise en place et du

fonctionnement des engins de fermeture des écluses ne laissait rien à l'imprévu.

Avec les deux sas accolés de 38m,50 il restait un petit supplément de 15m,86 de longueur. On pouvait donc discuter si on rapprocherait les deux nouveaux sas accolés de l'ancienne tête aval du troisième sas et de la route, en laissant à l'avant cette partie supplémentaire de cuvette maçonnée de 15m,86, ou bien si, inversement, on disposerait l'écluse double immédiatement après les arches du pont-canal, en laissant à proximité de la levée longitudinale et de la tête aval cette partie supplémentaire de cuvet maçonnée de 15m,86.

On se décida pour la première solution, parce qu'il n' a pas de banquettes sous le pont de la route et que halage eût été beaucoup plus difficile dans ce coul maçonné, s'il eût été placé à l'aval, qu'en le plaçant l'amont de la nouvelle écluse double, puisque, dans dernier cas, il n'y avait qu'à prolonger horizontalem les banquettes du pont-canal.

Les deux têtes intermédiaires de l'ancienne écluse tri ont été remplacées par une seule tête intermédiaire éta dans le second sas ancien. Le couronnement du gr éperon en maçonnerie a été maintenu horizontal et à hauteur du couronnement relevé du pont-canal sur t le nouveau sas supérieur en même temps que sur le coul maçonné, puisque ce sas supérieur doit communiquer av la cuvette maçonnée du pont-canal.

Le couronnement restant horizontal sur une longu totale de 411m,93, la pente des chemins de halage à par de la levée longitudinale a dû être notablement élevée portée à 0m,123. Cette inclinaison n'est pas incompati avec le halage. On a recouvert la surface supérieure d bajoyers avec des petits carreaux striés qui assurent to sécurité pour les hommes et pour les animaux emplo à la traction. Cependant les hommes seuls halent sur

pont-canal. La batellerie, quoiqu'elle n'y soit pas obligée, continue à envoyer les animaux de trait passer sur le pont-route distant du pont-canal de 240 mètres, suivant l'axe de la rivière d'Allier. Les animaux de trait sont ramenés ensuite au canal et reprennent le halage à l'autre extrémité du pont-canal.

Des évidements ont été pratiqués dans les bajoyers pour recevoir des vannes cylindriques.

Avec la répartition de la chute totale en deux chutes de $4^{m},50$, les surfaces intérieures des bajoyers soumis à la pression de l'eau sont plus considérables qu'avec l'ancienne répartition en trois chutes, même en conservant dans les deux biefs amont et aval l'ancien mouillage de $1^{m},60$ (ce qui a eu lieu dans les premiers temps à partir de 1895) et, *a fortiori*, lorsque le nouveau mouillage de $2^{m},20$ a été réalisé sur le bief d'aval en 1897 et sur le bief d'amont en 1898.

L'épure de stabilité a été établie en admettant, pour chacune des deux écluses que le radier prolongé sous chacun des bajoyers constitue une plate-forme d'appui unique dont toutes les parties ont entre elles une liaison parfaite.

On est ainsi conduit pour les bajoyers en section courante aux épaisseurs de 5 mètres pour l'écluse inférieure, $4^{m},43$ pour l'écluse supérieure.

Ces dimensions correspondent à des travaux maxima pour les maçonneries de $3^{kg},33$ et $4^{kg},37$ par centimètre carré.

Ces épaisseurs sont portées vis-à-vis des surélargissements correspondant aux chambres des portes à $5^{m},02 + 0,68$ d'enclave.

Les anciens bajoyer savaient, comme épaisseur en section courante, 3 mètres ; au droit des élargissements correspondant aux chambres des portes, $4^{m},43$.

Les augmentations d'épaisseur variaient donc de $0^{m},59$

à 2 mètres suivant les cas avec les nouvelles dispositions.

La modification de l'escalier à triple marche formé par les radiers des trois anciens sas ne pouvait s'effectuer que pendant le chômage, et c'était là un travail déjà considérable. Aussi fallait-il commencer avant le chômage l'élargissement des bajoyers et, pour cela, arracher le parement en vue d'assurer la liaison des maçonneries anciennes avec les maçonneries nouvelles exécutées en élargissement.

On commença par le bajoyer droit et, dès le mois de mai 1895, en pleine période d'exploitation, on arracha le parement extérieur et on pratiqua des arrachements dans les maçonneries. L'opération se poursuivit sans causer de craintes sérieuses pour le bajoyer droit au point de vue soit de la stabilité, soit de l'étanchéité. Bien que l'épaisseur fût ainsi réduite, en moyenne, de $0^{m},42$, soit de 3 mètres à $2^{m},58$, il ne se produisit aucun mouvement. Tout se réduisit à quelques suintements sans importance.

Étant donnés, d'une part, les élargissements des bajoyers indiqués plus haut et les surlargeurs du radier général, on put effectuer ces élargissements sans sortir du cadre de ce radier général. Cette circonstance favorable contribua, sans doute, pour beaucoup, au plein succès de cette opération, de telle sorte qu'il fut facile d'achever au chômage les maçonneries correspondant à l'établissement des vannes cylindriques.

A la reprise de la navigation, après soixante jours de chômage légal et soixante-douze jours de chômage en fait, le bajoyer droit était terminé conformément au projet, ainsi que le radier de la nouvelle écluse double; le bajoyer droit n'a plus donné lieu depuis ce temps qu'à quelques suintements sans importance. Tout ce qui a pu être exécuté à temps, conformément au projet, a reçu la pleine et entière sanction de l'expérience.

Pendant le chômage de 1895, on entama également la

transformation des trois radiers de l'ancienne écluse triple en deux radiers de la nouvelle écluse double; on construisit les parties du nouveau radier de l'écluse supérieure correspondant aux deux têtes de l'écluse et aux chambres des portes.

Le radier à l'intérieur du sas supérieur nouveau ne fut pas terminé, faute de temps, dans la campagne 1895, et il resta, dans cette écluse supérieure, une sorte de fossé descendant jusqu'au radier de l'ancienne écluse intermédiaire. Cette partie médiane du radier ne fut terminée qu'au chômage suivant, en 1896, de même que le comblement en béton jusqu'au niveau de la cuvette du pont-canal de la section maçonnée de 15^{m},86 dont il a été question plus haut.

L'absence de ces maçonneries ne pouvait avoir, en principe, aucun inconvénient, et, en fait, elle n'en a eu qu'un seul sérieux, il est vrai, provenant de ce qu'un agent ayant oublié de fermer les vannes d'aval du sas intermédiaire, ce sas s'est vidé, laissant un bateau appuyé à ses deux extrémités sur les parties déjà exécutées du radier et suspendu en l'air sur la partie médiane du radier.

Ce bateau s'est cassé. Il a fallu sortir ses débris de ce long et profond couloir en maçonnerie, ce qui a entraîné vingt-cinq heures de chômage et 2.548 fr. 20 d'indemnités à payer à des titres divers.

L'élargissement du bajoyer gauche ne fut commencé, par mesure de prudence, qu'au moment du chômage, après l'achèvement de l'élargissement extérieur du bajoyer droit. Il eût été imprudent assurément d'enlever, en même temps, et en temps de navigation, les deux parements extérieurs des écluses. Mais il s'ensuivit qu'à la fin du chômage on n'avait effectué l'élargissement de ce bajoyer que vis-à-vis les chambres des nouvelles portes. On avait, en outre, construit les vannes cylin-

driques avec tous les évidements qu'elles comportaient à l'intérieur de ce bajoyer. On fixait ainsi deux points intermédiaires du bajoyer gauche, en outre des deux extrémités qui pouvaient être considérées comme fixes, puisque l'une d'elles était soudée à la culée du pont-canal proprement dit, et l'autre à la levée longitudinale de l'Allier et au pont de la Route.

On espérait que le surplus du bajoyer pourrait rester avec son ancienne épaisseur jusqu'au chômage suivant, bien que cette épaisseur fût devenue faible eu égard aux nouvelles pressions, les maçonneries qui étaient en bon état pouvant au besoin être appelées à résister un peu à des efforts de cisaillement transversal au canal pendant cette période provisoire.

D'ailleurs, après cette rude campagne de soixante-douze jours de travail intensif, tout le personnel, l'Ingénieur, les deux Conducteurs chargés l'un du service de jour, l'autre du service de nuit, ne pouvaient se passer de repos. Si, à ce moment, nous avions demandé un Ingénieur et deux Conducteurs de réserve pour continuer sans désemparer les travaux du bajoyer gauche, depuis le 12 octobre, jusqu'au 15 novembre, nous nous serions exposé à ce qu'on nous répondît que cette demande insolite sortait des usages et que nous nous exagérions, sans doute, l'importance des travaux restant à effectuer, ainsi que leurs difficultés.

On remit donc le canal en exploitation et notamment la nouvelle écluse double sans que le bajoyer gauche fût entièrement à largeur.

De plus, on avait eu le tort de commencer à dégrader la surface extérieure du bajoyer gauche sur certains points en vue d'assurer la liaison des anciennes maçonneries avec les nouvelles quand on reprendrait la construction l'année suivante, et de ne pas maçonner un massif de blocage assez épais, assez étendu, dans le sens parallèle

à l'axe du canal à l'aval du collier supérieur des portes intermédiaires.

L'exploitation se poursuivit néanmoins régulièrement depuis le 12 octobre jusqu'au 6 décembre, bien que le sas supérieur de la nouvelle écluse double donnât des pertes sérieuses à travers le bajoyer inachevé, à parements extérieurs provisoirement informes et non raccordés définitivement du côté extérieur.

Mais, à cette dernière date, un mouvement se produisit dans le bajoyer gauche. Il s'écarta légèrement du nouveau radier sans cesser, heureusement, d'être vertical, et il fallut arrêter la navigation pour le visiter et le réparer sous peine d'aboutir à sa ruine.

Ce qui avait causé l'accident, c'était d'abord la masse insuffisante du bajoyer inachevé, sa résistance insuffisante non seulement à l'action statique de l'eau dans le sens transversal, mais encore à l'action dynamique des chocs violents de l'eau de remplissage qui, jour et nuit, se produisaient dans les aqueducs des vannes cylindriques à l'occasion de la manœuvre de ces vannes. Mais le bajoyer étant resté droit, il était de plus très probable qu'il fléchissait surtout sous l'action de forces horizontales, parallèles à l'axe du canal plutôt que sous l'action de forces horizontales perpendiculaires à cet axe.

Nous étions heureusement bien outillés. En deux ou trois jours, on organisa un chantier de maçonneries de bétonnage qui, installé en bas du grand éperon n'avait à redouter que les crues de l'Allier. En douze jours on rechaussa complètement du côté extérieur la partie inférieure du bajoyer gauche avec une grande dalle de béton; on disposa au-dessus de cette dalle quelques contreforts provisoires pour donner de la masse au bajoyer et résister aux actions transversales à l'axe du canal.

Dans ce même but, on maçonna les aqueducs des vannes cylindriques.

Enfin on disposa un massif de maçonnerie de blocage de 6 mètres d'épaisseur dans le sens parallèle à l'axe du canal en aval du collier supérieur (côté gauche) des portes intermédiaires jusqu'au niveau de ce collier.

On avait ainsi effectué près de 1.200 mètres cubes de maçonneries, la plupart en béton de ciment pendant ces douze jours; après quoi on put reprendre l'exploitation sans le moindre incident jusqu'au chômage suivant: le succès de cette réparation si rapidement enlevée était complet.

Ce travail fut exécuté très heureusement pendant trois semaines en tout, en travaillant seize heures par jour dont huit heures à la lumière des lampes Wells. Le dévouement du personnel fut au-dessus de tout éloge au cours de ces circonstances difficiles.

Il est à noter qu'on avait trouvé, en mettant à nu le radier général de l'ouvrage pour rechausser le bajoyer avarié, un ancien éperon en béton destiné à contrebutter la file de pieux et palplanches de ce radier, ce qui prouve que, de ce côté, nos prédécesseurs avaient dû également éprouver des craintes et prendre des précautions. Mais aucun agent du service, même parmi les plus anciens, ne put invoquer aucun souvenir à ce sujet. On n'en retrouva non plus aucune trace dans les archives.

Au chômage suivant, on termina l'élargissement du bajoyer en appuyant les nouvelles maçonneries sur la dalle de béton de ciment; cette dalle avait fait prise parfaitement. Il eût été inutile et coûteux de l'entamer pour y substituer les nouvelles maçonneries d'appareil. On recouvrit enfin la dalle de remblais disposés en pente douce, et actuellement l'aspect général de cette partie de l'ouvrage est entièrement satisfaisant.

Les quantités de maçonneries exécutées du chef de cette consolidation provisoire se réduisent à une faible augmentation relativement à celles prévues au projet

primitif. L'excédent des dépenses a tenu surtout à ce qu'on a dû exécuter une notable partie des maçonneries de la partie inférieure du bajoyer gauche à l'improviste en plein mois de décembre, et pendant la moitié du temps au moyen d'un travail à la lumière.

On doit retenir avant tout de ces divers incidents que, quand les travaux à exécuter sur une voie navigable exploitée exigent plus d'un chômage, il ne suffit pas que les travaux, après leur achèvement conforme au projet, présentent toutes les garanties nécessaires de stabilité, comme c'était le cas aux écluses du Guétin, il faut encore qu'ils soient assez avancés après le premier chômage pour que leurs conditions de stabilité permettent d'attendre avec une entière prudence le chômage suivant. Sinon, on peut être condamné à réaliser cet avancement indispensable des travaux à une époque qu'on ne choisit pas et qui pourrait être très défavorable. Dans le cas des écluses du Guétin, le Service a fini par sortir heureusement de cette difficulté, et le personnel, en raison de son activité et de son dévouement, méritait bien d'en sortir à son honneur.

Les portes d'écluses avaient été remplacées en grande partie au canal latéral avant le commencement des grands travaux de transformation, à titre de travaux de grosses réparations. Ces portes neuves ont pu être utilisées dans les têtes d'écluses modifiées, sauf au Guétin, où la modification des chutes entraînait la construction de nouvelles portes.

Des quatre paires de portes anciennes fermant les trois sas, une, la paire de portes supérieure, a été conservée comme porte de garde.

Les deux nouveaux sas ont été fermés par trois paires de portes de garde dont les dessins sont donnés (pl. 16).

Ces portes se manœuvrent facilement et rapidement à la main, sans qu'il ait été besoin d'y disposer aucun com-

partiment creux et étanche en vue de diminuer la résultante verticale par l'effet des compressions. Les vantaux sont entièrement métalliques. Leur bordage est constitué par des tôles embouties de 7 millimètres d'épaisseur. et l'expérience a confirmé pour ces portes, comme pour toutes les autres sur le canal, que l'emploi des bordages métalliques de ces dimensions présentait tous les avantages désirables sans aucun inconvénient.

Leur supériorité sur les bordages en bois nous paraît résulter de cette expérience.

Quant à l'ossature des portes, personne ne conteste plus aujourd'hui qu'elle doive être reconstruite avec des fers laminés, de préférence aux ossatures en bois, qui ne durent que rarement plus de vingt ou vingt-cinq ans.

Les grands vantaux de cette écluse double à deux chutes accolées de $4^{m},50$, chacune, sont remarquables par leur poids.

Ces poids sont :

	POUR chaque vantail	LES DEUX vantaux réunis
Pour les portes supérieures	$5.969^{k},5$	11.939^{k}
Pour les portes intermédiaires	7.219	14.438
Pour les portes d'aval	7.246	14.492

CHAPITRE V.

Passages supérieurs.

Dans la transformation du canal latéral, la réfectio[n] des passages supérieurs n'a pas été l'une des moindre[s] questions, d'abord par leur nombre, qui s'élève à 144

savoir : 1° 138 pour les routes, chemins vicinaux et chemins ruraux, dont 107 pour les passages supérieurs isolés, et 31 pour les passages supérieurs sur écluses ; 2° 6 pour les chemins de fer ; — ensuite, en raison de la nécessité de relever, en général, les voûtes et tabliers ; de là, des négociations souvent difficiles avec les autorités locales et les services de voirie intéressés dans toutes ces modifications.

Enfin il fallait améliorer les passes marinières correspondant à ces passages supérieurs et à une époque où cette voie d'eau avait une faible circulation. Ces passes étaient défectueuses en tout état de cause et surtout depuis l'extension du nombre des passages journaliers de bateaux.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, à l'exception de quelques-uns des biefs alimentaires, les trente-trois autres biefs avaient été portés au nouveau mouillage par un exhaussement soit de $0^m,60$, soit tout au moins de $0^m,40$.

Or les ponts supérieurs primitifs avaient des hauteurs au-dessus du plan d'eau variables et le plus souvent insuffisantes. Cette insuffisance s'accentuait encore après le relèvement du plan d'eau et avec l'obligation de donner uniformément au-dessus du nouveau plan d'eau une hauteur libre de $3^m,70$. De là, la nécessité de démolir les voûtes ou tabliers actuels.

Seulement on se trouvait dans deux situations assez différentes, selon qu'il s'agissait de la partie de canal située en amont du Guétin (107 kilomètres et 85 passages supérieurs) ou de la partie en aval du Guétin (71 kilomètres du Guétin à Maimbray et 59 passages supérieurs).

Ces deux parties avaient fait l'objet de deux services de construction distincts relevant d'Ingénieurs en chef différents, et la partie d'amont était bien plus ancienne et moins favorablement traitée que la partie d'aval. Ce canal latéral a été construit comme prolongement du canal

du Centre. Il s'est arrêté, en 1838, à Briare, comme construction. Mais les études en avaient été poussées jusqu'à Orléans, toujours sur la rive gauche de la Loire. Nos archives en font foi et, si le grand effort que le pays a dû faire converger en 1842 sur le réseau des voies ferrées ne s'était produit que plus tard, il est probable que la voie artificielle de navigation eût eu le temps de se prolonger jusqu'à Orléans et peut-être jusqu'à Tours.

Dans la première partie où les travaux avaient été engagés dès la Restauration, comme l'attestent les découvertes de monnaies de Fleury et la stèle de l'écluse de Saulx, les passages supérieurs consistaient le plus généralement en un tablier en bois de 5m,20 de portée, reposant sur deux culées le plus souvent avec des murs en retour parfois en aile et, dans ce cas, obliques, les deux culées faisant, dans les deux cas, fortement saillie sur le plafond du canal, qui présentait une largeur normale de 10 mètres sur la presque totalité du canal.

Aucune banquette de halage n'était ménagée. Quand un bateau avait à franchir un ouvrage de ce genre, il fallait tirer sur la corde de halage le plus longtemps possible en appuyant cette corde sur le dessus ou sur les côtés du parapet du tablier en bois. On devait détacher ensuite la corde de halage, effectuer le passage du bateau sous le pont en le poussant à la gaffe ou à bras, rattacher ensuite la corde et reprendre le halage régulier.

Il s'ensuivait, par conséquent, le double inconvénient :

1° D'interrompre le halage et d'exiger des manœuvres longues et difficiles ;

2° D'interrompre également, pendant quelques instants, la circulation sur la voie de terre supérieure au canal, quand on cherchait à approcher le bateau le plus près possible du pont en tirant sur la corde.

Tout d'abord on peut observer que cette obstruction momentanée de la circulation sur les voies de terre n'est

tolérée qu'en vertu d'un long usage et que, s'il s'agissait de l'établir actuellement à nouveau sur un chemin donné, elle ne serait certainement pas admise.

Mais ce canal latéral terminé en 1838 est antérieur à la création du réseau vicinal dont les bases ont été jetées par la loi de 1836. La plupart des voies de terre en question étaient alors des chemins ruraux n'ayant qu'une importance purement agricole. La circulation agricole n'avait pas beaucoup à souffrir de ce qui est une gêne et un danger pour la circulation routière actuelle, circulation beaucoup plus intensive et beaucoup plus rapide.

En second lieu, le passage du bateau dans une section rétrécie dont la largeur était très peu supérieure à celle de ce bateau était extrêmement long et pénible. Si à ce moment l'onde produite par l'évacuation d'une éclusée des anciennes écluses (600 mètres cubes environ) arrivait à l'ouvrage, le bateau était arrêté net, ou même reculait, quels que fussent les efforts de traction. Il y avait danger pour les hommes ou les animaux de trait d'être repoussés violemment en arrière, quelquefois même jusqu'à manquer de tomber à terre ou dans l'eau.

Ce danger eût été encore plus grand avec les éclusées des nouvelles écluses de $38^{m},50$ (800 mètres cubes environ).

Enfin, dans quelques cas, les culées n'étaient pas restées absolument verticales. Les chocs incessants des bateaux sur leurs parements n'étaient pas toujours étrangers à ces déviations. D'autre part, à la suite des pluies ou d'un long service, les bateaux s'étaient élargis au point de présenter plus de 5 mètres de largeur.

Il en résultait parfois qu'un bateau une fois engagé sous un pont ne pouvait ni avancer ni reculer. On le dégageait comme on pouvait, par un bout ou l'autre, de la manière qui semblait le plus commode, et cela non sans de grands retards pour la circulation générale.

On cite tel serrurier dans la région de Diou dont une des spécialités était de resserrer, au moyen de tiges de fer munies d'écrous, les bateaux qui menaçaient de ne pas passer commodément sous les ponts en question.

D'autre part, le service avait recoupé de 4 à 5 centimètres les parements de la passe de ces ponts jusqu'à 2 ou 3 mètres au-dessus du plan d'eau. Ces ouvrages, où la partie supérieure du parement était légèrement en porte-à-faux sur la partie inférieure de ce même parement, couronnés d'un tablier en charpente à moitié usé, présentaient l'aspect le plus lamentable et le plus contraire aux règles les plus élémentaires de l'architecture.

Le mauvais état de ces ouvrages s'explique d'autant mieux que, faute de moyens de transport, nos prédécesseurs ont été le plus souvent condamnés à fabriquer de la chaux sur place avec les pierres qu'ils avaient sous la main.

On rencontre encore fréquemment le long du canal latéral une série de fours à chaux abandonnés depuis longtemps et qui tombent en ruines, mais qui ont été construits par les soins du service sur les terrains de l'État et qui sont encore sa propriété.

Tous les ponts de ce type, quand ils étaient en mauvais état, ont été condamnés à disparaître entièrement et remplacés par des ponts supérieurs à tablier métallique avec passe marinière pour deux voies de bateaux et présentant, par suite, une ouverture totale de 17 mètres, comprenant une passe marinière de 12 mètres de largeur et deux chemins de halage de 2m,50 de largeur.

La convenance de donner deux voies de bateaux aux passes marinières sous les ponts supérieurs, dans les canaux à grand trafic n'est plus aujourd'hui contestée. nous avons déjà signalé ce fait dans notre mémoire sur le *Pont-Canal de Briare* et son nouveau bief.

Sur quarante-cinq ponts supérieurs de 5m,20 d'ouver-

et sans banquette de halage, vingt-six ont été transformés de cette manière et ne laissent plus rien à désirer sous le rapport de la facilité de passage des bateaux, vingt-deux ont été compris dans les grandes entreprises de transformation et quatre reconstruits en dernier lieu, cette année même, à titre d'amélioration complémentaire indispensable.

Les hypothèses admises pour les charges d'épreuves sont conformes :

1° Aux dispositions prévues par la Circulaire ministérielle du 9 juillet 1877, pour les projets préparés antérieurement à la dernière circulaire sur les ponts métalliques, celle du 29 août 1891 ;

2° Aux dispositions prévues par cette dernière Circulaire pour les projets postérieurs au mois d'août 1891.

Dans l'un et l'autre cas on a admis le principe de la modération des charges théoriques maxima qui pourraient parcourir le tablier, si les voies de terre étaient rigoureusement horizontales. Les déclivités aux abords rendent matériellement impossible l'arrivée sur les ponts en question de chargements maxima notablement supérieurs.

Les charges maxima généralement admises, eu égard à des déclivités aux abords variant de 4 à 7 centimètres par mètre sont :

Pour les chemins vicinaux ordinaires et les chemins ruraux : 6 tonnes pour les véhicules à un essieu, et 8 tonnes pour ceux à deux essieux ;

Pour les chemins de grande communication et d'intérêt commun : 8 tonnes pour les véhicules à un essieu, 16 tonnes pour ceux à deux essieux.

On a admis que les tabliers pouvaient être traversés par un convoi indéfini de chariots présentant les chargements les plus défavorables, ces chariots étant attelés par un nombre convenable de chevaux dont le poids et l'espacement sont respectivement de 700 kilogrammes et de

7 mètres, conformément aux prévisions des circulaires ministérielles précitées.

Mais après la transformation de vingt-six ponts supérieurs dans les excellentes conditions que nous venons de préciser, il reste encore malheureusement dix-neuf ponts de l'ancien type que, vu le bon état de leurs maçonneries, on s'est contenté d'exhausser, de manière à assurer sous le tablier la hauteur réglementaire de 3m,70. Mais, dès que leur état de conservation cessera d'être satisfaisant, ils sont, sans nul doute, destinés à faire l'objet d'une ransformation radicale, telle que celle que nous venons de décrire.

Cet exhaussement du tablier et le remplacement des ieux tabliers en bois par un tablier métallique a occasionné en moyenne la dépense suivante :

			Francs.	Francs.
Démolition :	charpente		365	
	maçonnerie		165	530
Reconstruction :	maçonnerie		2.720	
	tablier métallique		3.980	
	Modification des abords relevés :	terrassements	1.760	
		chaussées	1.720	10.180
		Total		10.710

On peut se demander s'il était bien rationnel de faire une dépense relativement aussi élevée pour conserver une situation aussi mauvaise.

Nous répondrons qu'il fallait avant tout et à tout prix réaliser, sur tous les points et sans autre délai que ceux des entreprises d'amélioration, le gabarit réglementaire.

Autrement c'eût été stériliser le capital employé dans la transformation. En second lieu, la transformation co- plète de tous les ponts eût, sans doute, été accept facilement par l'Administration dans la belle période travaux qui suivit l'année 1879. Mais, dès 1890, les dif

cultés budgétaires qui se sont encore accusées depuis, étaient déjà suffisantes pour qu'on fût réduit à ne demander que l'indispensable.

Sans doute, il y a encore quelques passages difficiles pour les bateaux. Mais les bateaux des nouveaux types, comme ceux des anciens types, peuvent les franchir, et c'est l'essentiel.

C'est une solution modeste. Mais elle a eu le mérite d'avoir été acceptée officiellement, d'avoir été réalisée sans retards et de permettre au public d'en bénéficier. Cela nous paraît la justifier complètement dans les circonstances actuelles et, d'ailleurs, ce qui a été fait ne ferme nullement la porte aux améliorations ultérieures.

En aval du Guétin, on rencontrait un type plus récent, plus élégant, comprenant une passe marinière de 5^{m},60 comprise entre deux banquettes maçonnées de 1^{m},60 et 0^{m},80, soit au total une ouverture de 8 mètres; les tabliers étaient supportés par quatre arcs en fonte reliés à un longeron supérieur tangent au sommet de l'arc par une série de cercles également en fonte et venus de fonte avec les parties voisines des arcs et du longeron. Chacune de ces fermes était composée de quatre morceaux.

Les maçonneries étaient en bon état.

Dans ce cas, la démolition complète du pont était plus discutable.

A la vérité, ces ponts ne présentaient pas, au-dessous du tablier, la hauteur réglementaire, et il fallait, pour réaliser ce gabarit normal, sans cependant relever par trop les voies de terre, remplacer ces arcs par des tabliers métalliques. Cette opération pouvait se faire au moyen d'un simple remaniement peu important de la partie supérieure des culées et de la pose d'un tablier métallique de 8 mètres de portée, tablier composé de deux poutres maitresses de 0^{m},50 de hauteur à âme pleine avec trottoirs en encorbellement et voie charretière supportée par

des pièces de pont et des tôles cintrées ou embouties. C'était là une solution simple et économique.

Cette solution, qui assurait l'utilisation de la presque totalité des maçonneries des culées se recommandait d'autant plus qu'on l'a combinée avec la suppression des banquettes en maçonnerie pleine et le remplacement de ces banquettes pleines par des banquettes en encorbellement, constituées par une ossature métallique supportant un plancher en bois pour le chemin de halage.

De la sorte, on réalise sous les ponts de ce second type une passe marinière de 8 mètres, sauf la présence de quelques pièces de fer au-dessous du platelage des chemins de halage, et on assure la continuité du halage.

L'expérience a prouvé que ce système de banquette en encorbellement dont nous donnons les détails (pl. 16) se comporte parfaitement, même sur un canal où passent parfois jusqu'à quarante bateaux par jour.

Les bateaux n'éprouvent plus les difficultés, les retards, et, en cas d'arrivée de l'onde des éclusées, les reculs si dangereux qui se produisent quand ces passes marinières sous les ponts supérieurs sont réduites à la largeur stricte de $5^m,20$.

Nous donnons (pl. 16) le type de ces ponts à tablier métallique avec poutres pleines de 8 mètres d'ouverture assurant une passe marinière de 8 mètres avec banquettes en encorbellement.

Les mêmes principes ont été admis pour les calculs et pour la modération des charges d'épreuves dans cette seconde série de ponts que dans la première.

Sur la première section on rencontrait quelques ponts construits d'après un type spécial :

1° Le pont du Donjon situé sur un chemin peu fréquenté. Il comportait une passe marinière de $5^m,20$ située entre deux banquettes ayant chacune $1^m,40$, soit une ouverture totale de 8 mètres que recouvrait une voûte en bon état,

mais située à une hauteur insuffisante pour donner le gabarit. Comme il n'y avait pas grand inconvénient à réaliser la surélévation, on a démoli la voûte et on l'a reconstruite à la hauteur voulue avec les mêmes matériaux.

Les banquettes en maçonnerie, d'abord conservées, furent remplacées dans la suite par des banquettes en encorbellement, quand l'expérience de ce genre de banquettes faite à l'aval du Guétin, eût donné de bons résultats.

2° Le pont de Sept-Fons qui comportait une passe marinière de 5,m65 comprise entre deux banquettes ayant, celle du halage, 1m,56 et, celle du contre-halage, 0m,81, soit une ouverture totale de 8m,02. Cet ouvrage, construit avec voûte en maçonnerie, présentait une hauteur insuffisante au-dessus du plan d'eau. Pour réaliser le gabarit normal, on a démoli cette voûte qu'on a remplacée par un tablier métallique à âme pleine de même portée. La passe marinière existante a été conservée.

3° Le pont de Germancy près de Decize présentait une passe de 5m,20 et un seul chemin de halage de 1m,30. La voûte, qui n'était pas à la hauteur nécessaire, a été démolie et remplacée par un tablier métallique avec poutres maîtresses à âme pleine et trottoirs en encorbellement de 1m,20 de portée. C'est le seul changement qu'ait subi cet ouvrage.

4° Enfin, sous la route nationale n° 7 se trouvait un pont à voûte trop basse qu'on a remplacée par un tablier métallique, en conservant les culées.

Cet ouvrage comportait une passe marinière de 5m,20 qui a été conservée.

Cette passe était située entre deux banquettes de halage en maçonnerie pleine, qui ont été remplacées par deux banquettes en encorbellement.

De même, dans la section en aval du Guétin, on rencontre quelques passages supérieurs d'un type spécial, tel le pont pour le passage de la route nationale n° 151 que

traverse le canal en séparant en deux le port de la Chapelle-Montlinard vis-à-vis de la Charité.

Ce passage à une seule voie de bateaux était gênant au milieu d'un port. On l'a reconstruit pour deux voies de bateaux.

Soit pour des motifs analogues, soit en raison du mauvais état des maçonneries, trois autres ponts supérieurs ont été entièrement reconstruits et alors portés sans hésitation à deux voies de bateaux.

A citer également, à Cuffy, la reconstruction d'une passerelle pour piétons suivant un arc parabolique articulé au sommet et aux naissances.

On rencontrait enfin, parmi les passages supérieurs pour voie de terre, quatre ponts suspendus.

Trois d'entre eux : le pont des Planches, au kilomètre 88,466, de 24^{m},40 de portée ; de Nambault, au kilomètre 139,697, de 20^{m},80 de portée ; de Charreau, au kilomètre 138,405, de 20^{m},90 de portée ; comportent le maintien du gabarit ordinaire de la cuvette et, de plus, une revanche au-dessus du nouveau plan d'eau égale ou supérieure à la hauteur réglementaire de 3^{m},70.

Il n'a donc pas été nécessaire de les retoucher.

Quant au quatrième pont suspendu, le pont de Saint-Satur, il présentait également une passe marinière largement calculée de 14^{m},70, encadrée entre deux chemins de halage de 3^{m},50 et 1^{m},80, soit une ouverture totale de 20 mètres.

La hauteur était légèrement trop faible. On a rogné les tiges de suspension de la quantité convenable et relevé ainsi le tablier au niveau voulu.

Malheureusement les câbles de tous ces ouvrages ne peuvent se visiter ; il y a là un véritable sujet d'inquiétude pour l'avenir et il sera prudent de ne pas trop attendre le remplacement de ces ponts suspendus par des ponts ordinaires à poutre droite.

Mais il n'y a pas seulement à considérer le passage supérieur par rapport à la voie navigable. Il intéresse également les voies de terre qu'il dessert.

Or, malgré l'emploi presque général de tabliers métalliques dans tous les nouveaux passages supérieurs, il a fallu relever les voies de terre au-dessus des nouveaux tabliers.

On s'est appliqué à étudier les nouveaux profils en long des chemins, de manière à ne pas augmenter les rampes maxima préexistantes et, par suite, à ne pas réduire la limite maximum des chargements à égalité de moyens de traction sur la voie de terre considérée.

Il n'y a eu que de très rares exceptions à cette règle et encore dans une très faible mesure. Ces exceptions étaient motivées par la nécessité de ne pas enterrer de nombreux immeubles bâtis en prolongeant par trop les nouvelles déclivités.

Aucune disposition intéressant les divers services de voirie n'a été, du reste, exécutée sans avoir fait, au préalable, l'objet de conférences avec ces services et sans que l'Administration n'ait examiné attentivement ces conférences, homologué les accords intervenus, ou statué sur les points pouvant être restés en litige.

Quelques communes ont sollicité des améliorations sous le rapport de la voirie pour les passages existant sur le canal, à l'occasion de leur reconstruction. Le service n'a accordé, à titre gratuit, des améliorations de cette nature que quand il y avait non pas seulement un intérêt local et un intérêt de voirie, mais, en outre, un intérêt bien plus général.

L'État doit, en effet, à l'occasion de la reconstruction des ponts supérieurs rétablir un nouvel état de choses aussi équivalent que possible à l'ancien, et rien de plus. C'est au service de la voirie à poursuivre toutes les améliorations qu'il juge nécessaires, mais à ses frais, en

tous points des voies de terre, aussi bien au-dessus du canal que sur tout autre point.

La reconstruction des passages supérieurs est simplement l'occasion, pour le service de la navigation d'exécuter ces améliorations aux frais des services voisins, s'il en est prié.

Ainsi, dans la commune de Ménétréol, un pont supérieur situé sur un chemin vicinal ordinaire et dont la reconstruction était prévue pour une seule voie charretière a été établi pour deux voies charretières, sur la demande de la commune et moyennant le versement par la municipalité d'une subvention égale au montant de la différence des deux projets comparatifs étudiés avec une ou deux voies charretières.

Une commune, qui avait sollicité, trop tard d'ailleurs, une amélioration de tracé à un chemin qui l'intéressait par la substitution d'un pont biais à un pont droit, mais qui avait refusé toute subvention, n'a pas eu gain de cause.

Au contraire, nous avons demandé et obtenu que le pont des Fouchards fût reconstruit pour deux voies charretières, parce qu'il dessert la voie de terre qui relie la ville de Cosne au port du canal situé vis-à-vis, de l'autre côté de la Loire.

Il y a pas mal d'expéditions par le canal en provenance ou à destination de la ville pour lesquelles un camionnage analogue à celui des voies ferrées se fait par la voie de terre en question. Il y a donc un intérêt véritablement général et non pas limité à la voirie à ce que les accès du port qui dessert Cosne soient bien dégagés.

On a prévu une double voie charretière pour toutes les routes nationales, les anciennes routes départementales là où elles sont déclassées, les chemins de grande communication et tous les chemins d'intérêt commun de quelque importance.

Il a été admis qu'une seule voie charretière suffisait, sauf les exceptions signalées plus haut pour les chemins vicinaux ordinaires, les chemins ruraux ou de desserte agricole.

Toutes les fois que la circulation était un peu importante, on a disposé une chaussée s'appuyant sur des tôles cintrées, les voûtes en briques reposant sur des pièces de pont ayant été, vers 1890, l'objet de quelques critiques de la part de l'Administration au sujet de l'état de conservation des fers en contact avec les maçonneries. Ces chaussées sont remises aux services compétents après l'achèvement des travaux.

On peut réaliser une économie sur le poids des fers et, par suite, sur les dépenses de premier établissement, en substituant un platelage à la chaussée. Mais le platelage s'use vite et coûte cher à entretenir pour peu que la circulation soit importante et, comme le platelage fait partie intégrante du pont, comme il reste, par suite, la propriété du service du canal et doit être entretenu à ses frais, on n'a adopté ce type que pour les chemins d'importance secondaire, peu fréquentés.

Les ponts sur écluse, au nombre de trente et un, ont été remplacés par des tabliers neufs, de même ouverture naturellement, dans tous les cas où leur état de conservation laissait à désirer. Les ponts ainsi reconstruits sont au nombre de dix.

En dehors de ces passages supérieurs (105 isolés et 31 sur écluses), il en existe six autres qui assurent le passage des voies ferrées au-dessus de la branche principale du canal.

1° Le premier de ces deux ouvrages pour le passage de la ligne de Moulins à Mâcon, au lieu dit « le Perron », où le canal qui se développe au sommet du coteau a été établi récemment en cuvette maçonnée. Cette cuvette maçonnée est établie pour une seule voie de bateau de

6^{m},15 de largeur et est comprise entre deux banquettes de halage ayant 3 et 4 mètres. On arrive à 13^{m},15 pour l'ouverture totale de la travée spéciale au canal dans l'ouvrage qui franchit la Loire en même temps que le canal.

La transformation d'une passe marinière de une à deux voies de bateau sous un chemin de fer à deux voies est, en principe, une opération qui exige trop de sujétions et de dépenses pour être tentée dans les cas ordinaires;

2° Le second pont pour voie ferrée au-dessus de la branche principale dans la section de Maimbray à Digoin qui nous occupe livre passage à la ligne de Paris à Lyon par le Bourbonnais, à quelques kilomètres au sud de la gare de Nevers en suivant la voie ferrée.

Le pont du chemin de fer était en maçonnerie et, pour une voie de bateau, il présentait une ouverture droite totale de 9 mètres répartie entre une passe de 6 mètres et deux banquettes de 1^{m},50. Les maçonneries étaient en bon état; mais la voûte avait une hauteur insuffisante.

Dans ces conditions, il est évident qu'on devait, *a fortiori*, traiter cet ouvrage comme les ponts avec banquettes de halage et culées en bon état situées en aval du Guétin. On a conservé les culées et on a remplacé les banquettes de halage en maçonnerie par des banquettes en encorbellement, et la voûte en maçonnerie par un tablier métallique moins massif qui a assuré au canal son gabarit réglementaire, sans qu'on ait été conduit, pour cela, à modifier le profil de la voie ferrée.

Si l'on avait voulu réaliser deux voies de bateau sous cet ouvrage, il eût fallu établir une déviation de la voie ferrée comme à Briare et même dans des conditions plus défavorables qu'à Briare, puisqu'il aurait fallu un ouvrage provisoire pour assurer le passage de la déviation au-dessus du canal, tandis qu'à Briare, le nouveau canal

n'étant pas encore en exploitation, la déviation n'avait pas besoin d'ouvrage d'art au-dessus de la voie navigable en construction.

Les travaux de remplacement des banquettes ont été effectués directement par notre service, et les travaux de remplacement de la voûte par un tablier métallique ont été exécutés par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée aux frais du service de la navigation. On a effectué cette transformation de l'ouvrage par moitié en établissant la circulation à voie unique sur la moitié où l'on ne travaillait pas. La dépense remboursée de ce chef à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée s'est élevée à 39.000 francs.

Une troisième traversée de la branche principale du canal par les voies ferrées d'intérêt général a été effectuée pour le passage de la ligne de Bourges à Cosne, construite récemment.

Le pont-biais à 63°,16′, supérieur au canal établi vers l'écluse de Bannay, comprend une passe marinière de 12 mètres et deux chemins de halage ayant, le premier 5^{m},35, et le second, qui sert aussi pour le passage du chemin de grande communication n° 9 du département du Cher sous le canal, a 6^{m},65 de largeur.

L'ouverture droite totale se trouve portée ainsi à 24 mètres.

En outre, la rigole de la Bèbre est traversée en deux points par des voies ferrées supérieures à la voie d'eau. L'un de ces ponts est situé, comme le pont du Perron, sur la ligne de Mâcon à Moulins, et l'autre a été établi pour la ligne de Dompierre à la Palisse.

Nous ne citons que pour mémoire ces deux ouvrages qu'il n'y a pas eu à retoucher.

CHAPITRE VI.

Résumé et Conclusions.

Tel est l'ensemble des travaux si divers qu'il a fallu poursuivre pendant sept années, y compris les étanchements complémentaires pour réaliser le nouveau mouillage normal entre Maimbray et Digoin.

Il ne reste plus que trois règlements de compte d'entreprises à terminer et un travail supplémentaire, la pose de portes de garde dans le bief du Guétin, à effectuer par mesure de prudence.

Sous ces réserves, qui visent des suppléments de dépenses peu importants relativement à l'ensemble des dépenses faites, cet ensemble peut se résumer dans le tableau suivant.

I. — GRANDS LOTS DE TRANSFORMATION ET TRAVAUX EN RÉGIE POUR LES ÉTANCHEMENTS CORRESPONDANT A CES LOTS (*).

LOTS	TERRASSEMENTS et chaussées	PERRÉS maçonnés	ÉCLUSES	OUVRAGES sous cuvette	PONTS supérieurs	ÉPUISEMENTS drainages consolidations et divers	MONTANT total des dépenses en travaux	Acquisitions de terrains et dommages
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. [illegible]
1er	»	»	»	73.486,55	55.595,66	16.154,28	145.236,49	3.636,7[illegible]
2e	91.839,67	»	95.571,17	64.186,83	246.709,37	49.356,06	547.663,10	7.765,[illegible]
3e	243.035,62	130.235,34	206.639,07	120.131,62	398.092,54	71.540,80	1.169.674,99	30.720,[illegible]
4e	336.604,88	91.316,43	175.105,87	97.013,28	250.752,00	100.786,09	1.051.578,55	12.631,[illegible]
5e	389.006,71	86.664,42	102.534,87	60.227,34	498.893,70	85.873,22	1.223.200,26	6.708,[illegible]
6e	14.831,65	»	247.441,15	193.551,29	27.734,81	100.959,98	584.518,88	4.307,[illegible]
7e	289.105,38	172.359,87	191.462,33	22.398,20	121.443,11	86.923,32	883.692,21	»
8e	198.010,22	137.516,41	161.779,70	147.761,37	140.181,81	138.553,86	923.803,37	1.292,[illegible]
9e	276.797,24	11.853,93	176.603,91	46.264,05	249.256,58	50.526,19	811.301,90	346,[illegible]
10e	19.485,00	2.112,76	31.158,21	2.825,31	11.512,32	9.302,19	76.395,79	35,[illegible]
	1.858.716,37	632.059,16	1.388.296,28	827.845,84	2.000.171,90	709.975,99	7.417.065,54	67.444,[illegible]
DÉPENSE TOTALE							7.484.509f,82	

(*) Voir le tableau II, page 184.

RÉCAPITULATION.

I. — *Grands lots de transformation.*	Dépenses en travaux	7.417.065f,54	
	Acquisitions de terrains et dommages	67.444 28	
			7.484.509f,82
II. — *Entreprises spéciales rattachées à la transformation.*	Dépenses en travaux	1.048.753f,30	
	Acquisitions de terrains et dommages	54.379 56	
			1.103.132 ,86
Total général des dépenses de transformation..			8.587.642f,68

D'autre part, on a :

Longueurs ouvertes à la circulation des bateaux de 38m,50 :

	Ligne principale.	Embranchements.	Totaux.
1° Avec le mouillage de 2m,20..	178k,085	8k,886	186k,971
2° Avec le mouillage de 1m,60..	»	3 444	3 444
	178k,085	12k,330	190k,415

Si on admet la dépense totale de 8.587.642 fr.68, applicable à cette dernière longueur on arrive à une dépense kilométrique de 45.100 francs.

C'est un chiffre relativement faible si on le compare au résultat obtenu : assurer la circulation de bateaux de 300 tonnes là où il ne circulait auparavant que des bateaux de 150 tonnes de chargement maximum.

La proportion des bateaux de 38m,50 qui fréquentent le canal latéral atteint déjà 20 0/0 du nombre total des bateaux, et, en outre, bon nombre de bateaux de 30 mètres profitent de la possibilité de porter leur tirant d'eau à 1m,80, au lieu d'être limités comme autrefois à 1m,40. Ces bateaux peuvent ainsi porter 200 tonnes environ.

Si maintenant on rapproche les quantités et les dépenses

II. — Entreprises spéciales rattachées a la transformation.

INDICATION DES OUVRAGES	TERRASSEMENTS et chaussées	PERRÉS maçonnés	ÉCLUSES	OUVRAGES sous cuvette	PONTS supérieurs	ÉPUISEMENTS drainages consolidations et divers	MONTANT total des dépenses en travaux	ACQUISITIONS de terrains et dommages
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Restauration de la cuvette du pont-aqueduc de Digoin..	»	»	»	52.377,19	»	»	52.377,19	»
Remplacement des portes de l'écluse des Gailloux et exhaussement des bajoyers....................	»	»	12.316,01	»	»	1.347,42	13.663,43	»
Reconstruction de la murette droite de la cuvette du Perron....................................	»	20.883,58	»	»	»	2.140,23	23.023,81	»
Reconstruction du pont du Theil..................	»	»	»	»	14.177,13	1.722,47	15.899,60	»
Travaux complémentaires d'étanchement et de consolidation dans l'étendue du deuxième lot d'amélioration.	»	49.000,00	»	»	»	»	49.000,00	»
Remplacement des banquettes maçonnées du pont du Donjon par des banquettes en encorbellement à ossature métallique..............................	»	»	»	»	9.200,87	699,13	9.900,00	»
Établissement de chambres d'emprunt dans les gares de Beaulon et de Gannay.....................	2.250,56	»	»	»	»	199,44	2.450,00	»
Transformation du pont des Prats.............	»	»	»	»	33.112,48	4.105,44	37.217,92	»
Reconstruction de douze portes d'écluses et exhaussement des bajoyers............	»	»	76.262,23	»	»	6.737,77	83.000,00	»
Reconstruction partielle des bajoyers des écluses de l'Huilerie et de l'Abron....	»	»	13.914,28	»	»	750,67	14.664,95	»
[illegible]	[illegible]	»	»	»	»	271,40	8.400,00	»

[illegible]								
Abaissement du radier et réfection des perrés, en aval de l'écluse double du Guétin	»	»	5.100,00	»	»	»	5.100,00	»
Construction de portes de garde et transformation des ponts du Crot-de-Savigny et de Peuilly	»	»	12.490,40	»	83.969,08	8.540,52	105.000,00	»
Étanchement de la gare d'Aubigny	»	55.522,50	»	»	»	4.581,50	60.104,00	»
Construction de perrés entre 123k,0 et 123k,4	»	7.259,50	»	»	»	240,50	7.500,00	»
Remplacement des portes amont des écluses de Laubray et Crille	»	»	11.837,57	»	»	1.162,43	13.000,00	»
Reconstruction du pont sur le canal du Berry	»	»	»	»	28.807,97	3.953,36	32.761,33	»
Remplacement de la porte aval de l'écluse d'Argenvières :								
Maçonneries	»	»	5.506,84	»	»	803,62	6.310,46	»
Métal	»	»	7.185,31	»	»	504,23	7.689,54	»
Établissement de drains et restauration de perrés entre les ponts 154.6 + 54,78 et 155,6 + 73,32	1.020,28	4.299,94	»	»	»	679,78	6.000,00	»
Prise d'eau des Boisseaux	6.607,51	5.299,50	»	17.257,51	1.942,38	8.462,48	39.569,38	54.379,56
Étanchement et consolidation de la digue de rive gauche en amont de l'écluse de la Prée	404,43	6.038,23	»	»	»	557,34	7.000,00	»
Aqueduc de Bannay	»	»	»	15.145,13	»	1.854,87	17.000,00	»
Aqueduc-siphon au point 158km,761	»	»	»	8.092,57	»	3.907,43	12.000,00	»
Remplacement de quinze paires de portes d'écluses et de trois paires de portes de garde :								
Métal	»	»	93.699,86	»	»	13.395,55	107.095,41	»
Maçonneries	»	»	10.660,47	»	»	25.339,53	36.000,00	»
	16.505,28	158.803,25	248.972,97	92.872,40	285.935,31	245.664,09	1.048.753,30	54.379,56
Dépense totale							1.103.132f,86	

de la partie du canal latéral située entre Digoin et Maimbray du nouveau bief de Briare qui complète actuellement le canal latéral jusqu'à la jonction de la Cognardière au canal de Briare, on trouve pour la transformation de l'ensemble du canal latéral :

I. — *Terrassements exécutés.*

De Digoin à Maimbray..........	1.245.932 métres cubes.
Nouveau bief de Briare.........	1.825.436
Total......	3.071.368 mètres cubes.

II. — *Nombre de ponts-canaux de plus de 5 mètres d'ouverture totale.*

Transformés (de Digoin à Maimbray).................	11
Construits à neuf (nouveau bief de Briare)...........	5
Total......................	16

III. — *Dépenses faites.*

De Digoin à Maimbray....................	8.587.642f,68
Nouveau bief de Briare....................	8.335.187 ,18
Total...........	16.922.829f,86

IV. — *Résultats obtenus.*

Longueurs ouvertes à la circulation des bateaux de 38m,50 :
1° Avec le tirant d'eau de 2m,20 :

	Ligne principale.	Embranchements.	Totaux.
a) De Digoin à Maimbray....	178k,085	8k,886	186k,971
b) Nouveau bief de Briare....	17 592	»	17 592
	195k,677	8k,886	204k,563
2° Avec le tirant d'eau de 1m,60..................	»	3 444	3 444
Totaux......	195k,677	12k,330	208k,007

Tel est, à quelques règlements près, l'ensemble considérable des sacrifices qui ont été nécessaires pour porter le mouillage préexistant de 1m,60 à 2m,20 et toutes les écluses de 30 mètres à 38m,50 depuis le canal de Briare

jusqu'au canal du Centre, sur une voie assurant un passage indépendant des fleuves et rivières deux fois au-dessus de la Loire et une fois au-dessus de l'Allier, au moyen d'un ouvrage entièrement neuf et de deux atures grands ouvrages transformés, sans compter de nombreux autres ouvrages également transformés, sur des affluents importants de la Loire.

Mais on a ainsi réalisé une grande artère de navigation intérieure, d'un parcours facile et avantageux, qui relie la Seine et le Rhône en passant au centre même du pays. L'importance économique de ce résultat est bien en rapport avec les sacrifices consentis et les efforts développés pendant neuf années de travaux, 1890-1898.

Nevers, le 18 janvier 1899.

N° 25

NOTICE

SUR

LA BARRA DE RIO GRANDE DO SUL

ET SUR

LES MOYENS D'Y CRÉER UNE PASSE STABLE (*)

Par M. L.-L. VAUTHIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le port de San Pedro de *Rio grande do Sul*, situé sur la côte du Brésil, par 32° de latitude australe, près de la frontière qui sépare cette République des provinces orientales de l'Uruguay, communique avec la mer par un canal naturel, dit *canal du Nord*, de 16 kilomètres environ de développement, large, profond et peu sinueux, dont la direction générale est à très peu près celle du méridien.

Ce canal, qui serait praticable pour les plus grands navires, est obstrué, à son débouché dans l'Océan, par une barre en éventail, que coupent des passes peu profondes se déplaçant avec les saisons. De là, pour la navigation de haute mer, un obstacle qu'il importe d'écarter. Tel est, en son essence, le problème de la *barra* de Rio grande do Sul, de la solution duquel cette notice a pour objet de dire un mot.

(*) La plus grande partie des renseignements de fait de ce travail est puisée dans un *Rapport sur l'amélioration de la barre de Rio grande*, publiée en 1897, avec de nombreuses planches à l'appui, par M. J. da Costa Couto, lequel relate les études faites, par divers ingénieurs brésiliens et étrangers, aussi bien que celles d'une Commission spéciale dont il était Président. M. da Costa Couto a bien voulu ajouter à ces renseignements des explications verbales, dont nous le prions ici d'agréer nos remerciements.

I

Dans les parages de l'Atlantique où cette étude conduit, entre le 30ᵉ degré de latitude sud et l'embouchure de la Plata (35°), la côte du Brésil est une plage basse, sablonneuse et presque rectiligne, qui court suivant un gisement général très voisin du N.E.-S.O. Les vents de mer y soufflent une partie de l'année, mais la prédominance appartient aux vents du S.-O. et N.-E., parallèles à la côte, surtout à ces derniers, qui sont notablement les plus fréquents En ce qui concerne les marées, elles sont, à cette latitude, très faibles, variables avec la direction du vent, par suite irrégulières. Le *Tide tables* anglais leur attribue, en vives eaux, une oscillation de $0^m,30$ à $0^m,45$; le *Pilote du Brésil* leur assigne une montée de $0^m,45$ à $0^m,60$, et l'oscillation la plus forte que les observations locales signalent comme tout à fait exceptionnelle est celle de $1^m,50$. D'après les dites observations, ces marées sont, en général, presque nulles; c'est le vent qui les règle et surtout le *pampero*, ou vent de S.-O., qui leur donne de l'amplitude au débouché du canal du Nord.

Quant à ce canal, il est alimenté en eaux douces, avec une puissance et une régularité tout à fait exceptionnelles, eu égard aux circonstances spéciales qui vont être relatées.

Dans le Nord-Est, comme dans le Sud-Ouest du port de Rio grande existent, le long et à peu de distance de la mer, deux vastes lagunes, la *lagoa dos Patos* (lagune des Canards) et la *lagoa Mirim*, qui, réunies par un canal naturel de jonction intérieur, forment à elles deux un immense réservoir de retenue, d'une superficie, ensemble, de 12.000 à 14.000 kilomètres carrés (*), dans lequel se

(*) Des mesurages locaux donnent aux deux lagoas une superficie totale de 16.000 kilomètres carrés. Nos mesurages, qui nous conduisent

déversent des cours d'eau drainant un énorme bassin auquel la géographie locale attribue une surface de 162.000 kilomètres carrés, et dont le canal du Nord constitue l'unique émissaire de décharge dans l'Océan.

Un peu plus grand que les trois dixièmes de la France continentale, ce bassin hydrologique, dans les conditions climatériques de la région, fournit aux thalvegs qu'il alimente, défalcation faite de l'évaporation et de l'absorption, une tranche d'eau annuelle de 1 mètre environ (*); et les 162 milliards de mètres cubes que cette tranche représente peuvent, de cette façon, donner, en eaux douces, au canal du Nord, un débit moyen d'un peu plus de 5.000 mètres cubes à la seconde (exactement 5.136 mètres cubes). C'est là, très approximativement, en effet, le chiffre qu'indiquent les observateurs locaux.

Entre quelles limites oscille ce débit moyen d'une saison à l'autre de l'année? Il faudrait, pour s'en rendre exactement compte, bien connaître, en même temps que le régime des cours d'eau alimentaires, l'altitude moyenne relative des niveaux des *lagoas* entre elles et par rapport à la mer, aussi bien que les dispositions du lit de leur canal de jonction. Sur ces divers points, les observations locales ne fournissent que des renseignements incomplets, qui se résument dans les faits suivants :

Le débit, vers la mer, dans le canal du Nord, où l'on aurait constaté des vitesses extrêmes de $1^{m},80$ à la seconde, oscillerait entre un maximum de 14.000 mètres et un minimum de 3.800 mètres; moyen débit, 5.100 mètres. Quant au niveau de la *lagoa dos Patos*, il ne tendrait pas seulement à s'élever ou à s'abaisser suivant le plus

à 12.230 kilomètres carrés, ont été faits sur les cartes hydrographiques de la Marine française.

(*) Cela suppose une hauteur pluviométrique annuelle de $1^{m},30$ à $1^{m},40$, ce qui, à cette latitude, n'est pas inadmissible, quoiqu'un peu élevé cependant.

ou moins d'affluence des eaux alimentaires, mais sa surface subirait l'action des vents régnants dans des proportions sensibles. Enfin, malgré la faiblesse des marées, celles-ci se feraient parfois sentir, exceptionnellement, dans la *lagoa*, en amont du canal du Nord, jusqu'à une distance de 180^{km},00. Ajoutons que, d'après le *Pilote du Brésil*, les eaux de la *lagoa* deviennent saumâtres, à partir d'une certaine distance en amont de Rio grande.

Ces divers faits, qui peuvent se modifier dans le cours des temps, par suite notamment de l'envasement des mers intérieures par les alluvions fluviales, auraient besoin, pour servir de base à des conclusions absolument précises, d'être observés avec plus de soin qu'ils ne semblent l'avoir été jusqu'ici. Toutefois ils ne sont pas en contradiction avec les résultats de la note ci-dessous (*), où la

---

(*) D'une carte à l'échelle de $\frac{1}{60.000}$, dressée en 1894, qui accompagne le mémoire visé ci-dessus de M. da Costa Couto, nous avons pu déduire, par des mesurages micrométriques, de kilomètre en kilomètres, les largeurs que présente ce canal, sur 16^{km},500 en amont de son embouchure, entre les courbes de 10 mètres et de 7 mètres de profondeur, lesquelles y paraissent tracées avec soin. Ces mesurages nous ont donné : pour la profondeur de 10 mètres, la largeur moyenne 366 mètres, variant de la région d'amont à celle d'aval de 342 à 390 mètres ; pour la profondeur de 7 mètres, la largeur moyenne 682 mètres, variant, de même, de 634 à 730 mètres.

En reliant ces largeurs par une parabole du second degré, et complétant le profil par des tangentes à la profondeur 7 mètres, on obtient une section moyenne de 1.248 mètres de largeur au plan d'eau, de 11^m,21 de profondeur au milieu, et de 8.650 mètres carrés de superficie, avec un rayon moyen de 6^m,86, les dimensions correspondantes variant elles-mêmes, de l'amont à l'aval, de 1.148 à 1.348 mètres, pour la largeur au plan d'eau, et de 8.008 à 9.332 mètres carrés, pour la section mouillée, la section extrême à l'aval, rétrécie par la pointe de l'isthme formant la rive gauche du canal, ne dépassant guère en surface la section d'amont.

Dans ces conditions on trouve, pour le débit moyen de 5.136 mètres cubes, et le débit minimum de 3.800 mètres, les pentes totales de surface, sur les 16^{km},5 considérés : 0^m,277, avec une vitesse moyenne de 0^m,59 par seconde, pour le débit moyen ; 0^m,154, avec une vitesse moyenne de 0^m,44, pour le débit minimum.

Quant aux hautes eaux, la pente totale serait de 2^m,046 avec une

vitesse moyenne de $1^m,45$ pour le débit des hautes eaux correspond bien à la vitesse maximum observée de $1^m,80$, et qui explique également d'une façon satisfaisante, par la variation de la pente totale de surface du canal, combinée avec la faible et irrégulière ascension des marées, comment il peut se faire que, durant certaines périodes, l'écoulement vers la mer soit le fait constant, et qu'il y en ait d'autres où les eaux douces soient retenues ou refoulées dans la *lagoa* par certaines marées exceptionnelles.

Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, des modifications que pourraient, dans une certaine mesure, comporter les chiffres précédents, ils suffisent pour se rendre compte de la force énorme que, dans l'espèce, fournissent les eaux douces comme moyen d'action; et ces eaux paraissent bien avoir constitué jusqu'ici, pour le canal du Nord, un système hydrodynamique des plus favorables, puisqu'elles y ont entretenu un magnifique chenal de plus de 10 mètres de tirant d'eau et d'une largeur partout supérieure à 300 mètres, que pourraient fréquenter les plus puissants cuirassés.

Ce n'est pas là un motif pour négliger absolument les améliorations dont le canal du Nord peut être susceptible. Mais c'est à son débouché dans la mer qu'existe surtout le mal auquel il faut parer. En quoi consiste la *barra* qui l'obstrue? Quelles sont les circonstances qui la produisent et la maintiennent? Voilà ce qu'il importe d'étudier.

II

Les lagunes, dont il est fait mention plus haut, qui [illegible] une étendue de plus de 500 kilomètres, s'allongent à [illegible]

---

vitesse moyenne de $1^m,619$, si la section moyenne restait la même [illegible] cet état du débit. Mais, en tenant compte de la surélévation du [illegible] d'eau, qui est, au milieu de la distance de $0^m,78$, on obtient une [illegible] totale de $1^m,56$, avec une vitesse moyenne de $1^m,45$.

de distance de la côte maritime actuelle, ont, selon toute apparence, fait, aux époques préhistoriques, partie du fond de l'Océan; et les cours d'eau qu'elles reçoivent

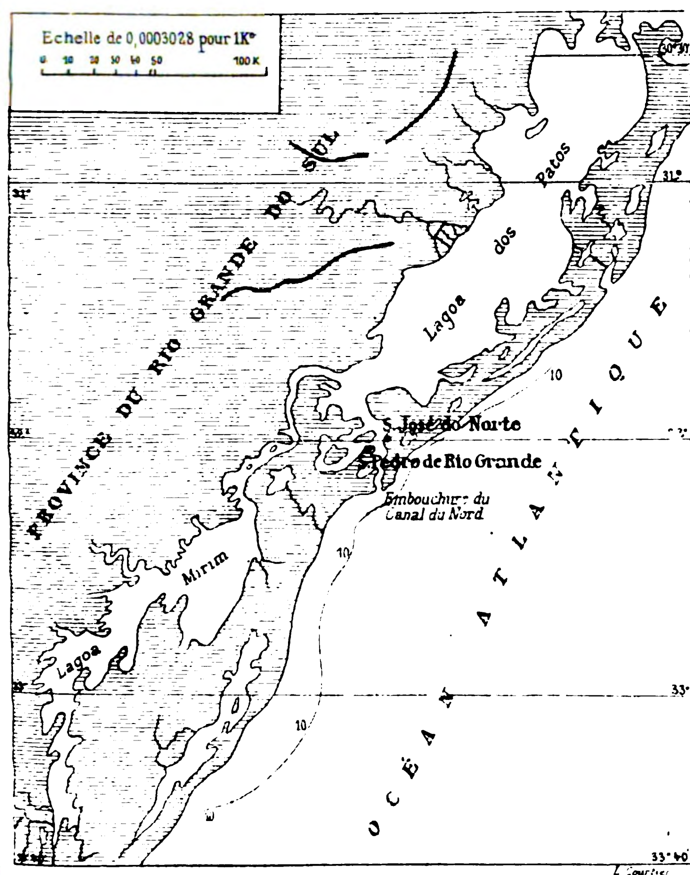


Fig. 1. — Extrait de la carte hydrographique de la côte du Brésil de 1862.

devaient se décharger, alors, directement à la mer. Tout, à l'aspect des cartes, témoigne dans le sens de cette hypothèse. La *lagoa dos Patos* offre, dans son entier développement des profondeurs dépassant 8 mètres; la

lagoa Mirim en présente par endroits de plus considérables; et les longues plaines basses sablonneuses, de 15 à 25 kilomètres de largeur pour la *lagoa dos Patos*, d'une largeur un peu plus grande pour la *lagoa Mirim*, qui les séparent de l'Océan, sont coupées de nombreuses lagunes secondaires, de forme allongée, dont le grand axe est parallèle à la côte. C'est par un mouvement continu des sables littoraux progressant du Nord au Sud que ces portions de mer se sont trouvées emprisonnées, et c'est probablement à la suite de conflits plusieurs fois séculaires entre les eaux douces cherchant une issue et les sables la leur refusant que le débouché des premières s'est trouvé fixé dans la situation qu'occupe aujourd'hui le canal du Nord.

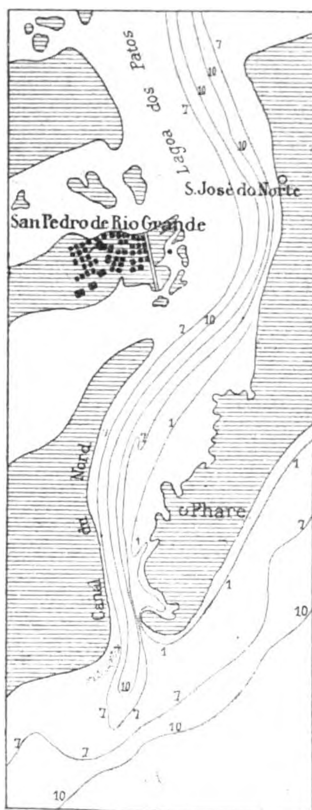


Fig. 2. — Carte du Canal du Nord en 1894.

Les forces cosmiques qui ont produit cet état de choses peuvent avoir changé d'amplitude; elles n'ont pas changé de sens. Sous la prédominance des vents du N.-E., c'est toujours vers le Sud que le sable des dunes littorales est entraîné. C'est toujours à la pointe Sud de l'isthme qui sépare le canal du Nord de la mer que se portent des sables tendant à prolonger cet isthme et à réduire le débouché du canal. Quant aux plages sous-marines, leur

disposition explique, d'une façon aussi simple que claire l'existence de la barre qui obstrue l'embouchure de ce dernier.

L'Océan est peu profond dans ces parages. Il faut aller à 45 ou 50 kilomètres de la côte pour trouver des brassiages de 25 à 30 mètres, et la sonde ne signale des profondeurs de 60 mètres qu'à une distance dépassant 100 kilomètres. Néanmoins, au Nord du débouché du canal, la courbe des fonds de 10 mètres serre de près la côte et n'en est pas éloignée de plus de 1 à 2 kilomètres. Mais, à partir d'une certaine distance, cette zone sous-marine, la plus intéressante au point de vue de l'accès dans le canal, va s'élargissant. En face de l'embouchure de celui-ci, dans l'orientation S.-E., la courbe de 10 mètres est distante de 6 à 7.000 mètres de la courbe zéro, et, après un certain parcours, la largeur de la bande augmente et, sur une longue étendue au Sud, présente une dimension transversale de 18 à 20 kilomètres.

Des sables d'assez faible grosseur, que, sous l'action des vents dominants, avec le concours de courants littoraux, dont la vitesse atteint $0^{m},80$ par seconde, les lames drossent, parallèlement au rivage, tantôt du N.-E. au S.-O., tantôt en sens inverse; telles sont les circonstances générales qui expliquent, combinées avec le crochet que forme la côte au débouché du canal, la plastique à peu près immuable dans son ensemble des fonds en face de ce débouché.

Pour se rendre compte de ce qui se produit, il n'y a nul besoin de faire intervenir des apports venant du canal qui, par l'épanouissement, à la rencontre de la mer, des eaux douces les charriant, se déposeraient quand celles-ci perdent leur vitesse. Cet élément peut jouer dans le phénomène un certain rôle; mais ce rôle est tout à fait subordonné. L'action des vents de la partie du Sud-Est, parfois violents, mais de peu de durée, qui poussent les

sables vers la côte n'est pas non plus négligeable. Mais ce sont là des facteurs secondaires, dont l'efficacité est minime, et ne trouble que faiblement la puissante action coordinatrice qu'exerce, du Nord-Est au Sud-Ouest et *vice versa*, la grande impulsion des courants anémométriques, dans une région de l'Atlantique soustraite aux cyclones, et que sa situation presque intertropicale soumet au jeu des vents réguliers.

Le dépôt des sables sous-marins qui constitue la *barra* de Rio grande n'est donc pas un fait local. Sa présence est due à des causes générales sur lesquelles l'homme n'a qu'une bien faible action. Cette action ne peut avoir d'effet, dans une certaine mesure, si l'on sait s'y prendre, que sur la passe par laquelle les eaux douces s'ouvrent un passage dans ce dépôt.

Pour discerner dans quel sens diriger les efforts à ce sujet, il convient d'examiner de plus près quelles sont les conditions dans lesquelles le phénomène se produit. C'est à cet examen que nous allons procéder.

III

Pour nous guider dans cette étude, nous possédons, indépendamment des renseignements fournis par M. da Costa Couto, dans un mémoire personnel et dans les mémoires d'autres ingénieurs reproduits par lui, des relevés hydrographiques de l'embouchure du canal du Nord, dressés à diverses époques, ainsi que les profils en long suivant le chenal de navigation en rapport avec quelques-uns de ces relevés(*).

(*) Indépendamment d'une carte de 1814 contenant quelques sondages, les relevés hydrographiques dont il s'agit se rapportent aux années 1849, 1866, 1875, 1881, 1883, 1890 et 1894, et les profils du chenal navigable aux cinq premiers de ces relevés. Les relevés sont tous reproduits dans la planche p. 198 *bis*. Quant aux profils qui en sont déduits et ont tous le même caractère de remonter, de l'intérieur du canal,

La vue d'ensemble de ces documents graphiques (Pl. p. 198 *bis*) en dit plus que ne sauraient le faire les descriptions verbales les plus précises et les plus détaillées; l'action et la réaction réciproques des grandes forces en présence s'y lisent avec une saisissante netteté. C'est un véritable delta sous-marin de proportions relatives circonscrites qui existe au débouché du canal du Nord, delta où les apports d'amont ne jouent qu'un rôle, sinon tout à fait nul, du moins très secondaire, dont les facteurs principaux sont la puissante veine fluide qui se décharge dans l'Océan, coupant de biais une plage de sable que tendent continuement à régulariser, parallèlement à la côte où elle s'appuie, des forces hydrodynamiques agissant sous la même direction, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. En dehors de cela, tout le reste ne constitue que des incidents secondaires dus, dans une mesure à peine perceptible, à l'influence des marées, et, pour le surplus, à l'action des vents du large, remaniant, avec le concours des lames, les fonds sous-marins dans une zone de profondeur inférieure à 10 mètres.

Qu'on imagine, au lieu de l'Océan, soumis à tant de causes d'agitation, une eau stagnante, une sorte de lac à berges sablonneuses, dans lequel débouche un cours d'eau qui s'est frayé un passage à travers la masse de sable séparant son lit des fonds du lac supposés d'un brassiage égal ou supérieur au sien. Quel sera le profil du thalweg des eaux affluentes à partir du point de rencontre *a* (*fig.* 3) des niveaux des deux masses liquides? Dans cette rencontre, l'eau en mouvement perd d'abord une partie de sa force vive, et, sa vitesse s'amoindrissant, la puissance d'entraînement qu'elle possède en est réduite d'autant; puis, par le fait de l'épanouissement latéral de la

---

vers le seuil constituant la *barra*, sous une inclinaison de 2^{mm},5 environ par mètre, pour se raccorder ensuite avec les fonds extérieurs sous une pente quadruple, il a été jugé inutile de les reproduire.

veine fluide dans le milieu stagnant, le lit effectif da lequel elle coule allant sans cesse s'élargissant, ce l diminue progressivement de profondeur, et le thalve subit, jusqu'à un point analogue au point *b* du croquis, u relèvement plus ou moins marqué déterminant la forma tion d'un seuil en ce point. C'est là la *barra* de Ri grande.

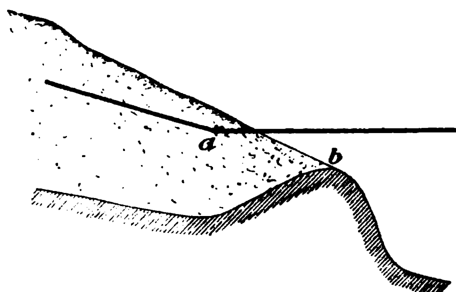
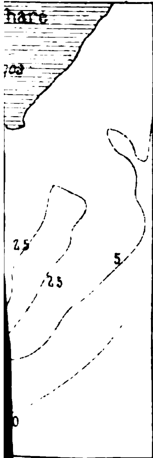
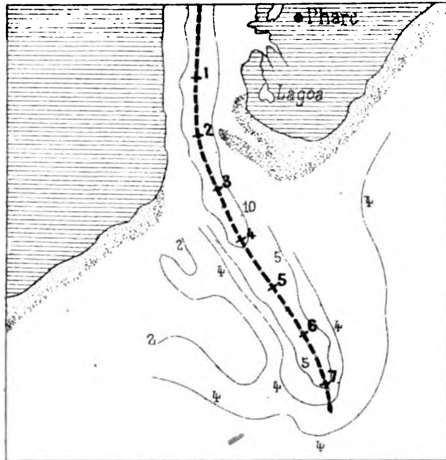


Fig. 3..

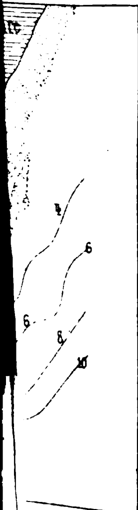
Cet effet est infaillible, quelle que soit d'ailleurs l résistance à l'entraînement des éléments de la mass interposée. C'est une conséquence forcée des lois le plus élémentaires de l'hydraulique ; et il n'est nullemen besoin, pour l'expliquer, de faire intervenir des force accessoires. Que de telles forces interviennent néan- moins, que l'eau supposée stagnante subisse certain mouvements, que ces mouvements agissent eux-mêmes, dans une certaine mesure, sur la masse sablonneuse où la veine fluide s'est ouverte et doit constamment s'ouvrir un passage, il en résultera des changements dans la plastique des fonds, l'aspect extérieur du phénomène sera modifié, mais son caractère essentiel restera le même. Et, si le sens de ces forces accessoires varie avec une certaine périodicité, la complication du phéno- mène sera plus grande encore; et le seuil *b* pourra se déplacer périodiquement aussi, sans que cela change rien à la cause principale qui détermine sa production.

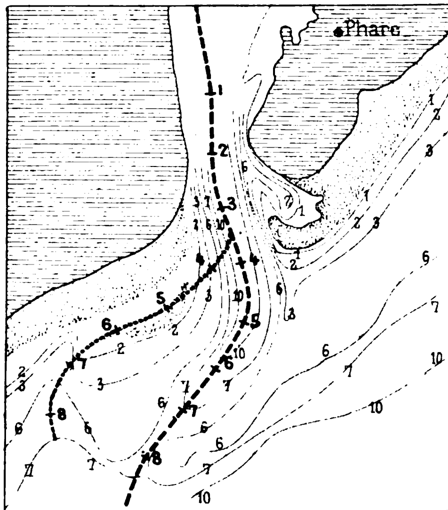


1875



1894





30738

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Quoique n'expliquant pas les variations de forme et de disposition des bancs sous-marins au débouché du canal du Nord, telles que les donnent les relevés hydrographiques successifs, les observations qui précèdent rendent ces changements compréhensibles, sans qu'il y ait besoin de faire intervenir dans le phénomène d'autres facteurs que la force prépondérante des eaux douces qui s'écoulent, en conflit, lorsqu'elles cessent d'avoir des rives fermes, avec les forces variables des vents et des lames, du courant littoral et de l'oscillation, minime, des marées.

Ajoutons quelques mots.

Dans le cas fictif où nous nous sommes placé, les eaux affluentes tendraient, par leur action prolongée, comme effet d'ensemble, à pousser en avant le massif dans lequel elles se forment un passage transversal. Il est facile de voir, au simple examen des relevés ci-joints, qu'un pareil résultat se manifeste, d'une façon plus ou moins accusée, à toutes les époques. Dans le S.-S.-E, du débouché du canal du Nord, de 1849 à 1883, sous une orientation un peu différente, depuis, les courbes sous-marines sont proéminentes vers le large. Il se produit là, dans ce delta noyé, avec des proportions extrêmement réduites, le phénomène que présentent dans leur marche les alluvions découvrantes qui forment tous les deltas des fleuves que reçoivent des mers à marée faible ou nulle. Cette proéminence ne parait pas, ici, augmenter avec le temps. Elle semblerait même tendre à s'atténuer. Ce dernier effet peut tenir à des causes intermittentes. Quant à l'effet général, si l'action des vents du S.-E., soufflant normalement à la côte, y est pour quelque chose, la part prépondérante en revient certainement à la puissante action coordinatrice qu'exerce l'Océan, dans ces parages, sous l'orientation, parallèle au rivage, du N.-E. au S.-O. Et, si la régularisation que produit cette action coordinatrice est d'autant plus facile à concevoir qu'il y a moins

d'alluvions charriées par les eaux douces, elle n'implique nullement l'absence complète de celles-ci. Selon M. da Costa Couto, les eaux du canal du Nord, qui sortent décantées de la *lagoa dos Patos*, se troublent dans leur parcours, ce qu'il attribue à la corrosion, en certains points, des berges du canal. On doit admettre le fait; mais il ne joue visiblement qu'un rôle secondaire dans le phénomène; les bancs, en dehors de l'embouchure, sont, pour la plus grande partie, d'origine marine; et, si l'on n'a certainement, ici, rien de comparable aux apports du Volga, du Nil, du Rhône, de l'Èbre et de tant d'autres fleuves débouchant dans des mers sans marées, on y a bien moins encore des alluvions semblables à celles dont l'excessive abondance fait avancer si rapidement les bouches du Mississipi dans le golfe du Mexique.

Quant aux autres traits de la plastique du delta sous-marin, leurs variations d'une époque à l'autre n'empêchent pas d'y retrouver des similitudes caractéristiques. C'est toujours entre des bancs attenant à la côte ou s'en détachant plus ou moins que circule vers la mer le chenal des eaux douces, — ce qu'on dénommerait le chenal de jusant, si les marées étaient plus fortes. Ces bancs sont, en général, assez élevés pour constituer des brisants par grosse mer. En ce qui touche leur forme, celle-ci varie naturellement d'un relevé à l'autre et paraît se compliquer avec le temps. Ce dernier effet peut tenir à ce que les constatations hydrographiques sont de plus en plus précises, et les sondages plus multipliés. En outre, d'après quelques-uns des relevés, — citons celui de 1883, — ces bancs sont disposés de telle façon qu'ils laissent entre eux deux passes à peu près d'égal brassiage, et que le chenal navigable le plus court et le plus direct se sépare, quelquefois, à une certaine distance de la barre, du thalweg creusé par les eaux douces.

Dans cette plastique des fonds, l'action des marées se

manifeste-t-elle avec quelque évidence? Et, corrélativement au chenal de jusant, aperçoit-on dans la forme extérieure du massif sous-marin des marques irrécusables d'un chenal de flot? Ce n'est guère que dans le S.-O. de l'embouchure qu'une partie des relevés portent quelque trace d'un pareil chenal. Les plus récents, de 1890 et 1894, sont ceux où le signe est le plus manifeste, mais d'autres encore, notamment les relevés de 1814, 1849 et 1866, indiquent l'existence dans cette situation d'une passe pour les petites embarcations, ce qui peut être dû à l'action du flot, et s'expliquerait par le fait que les marées sont surtout sensibles par les vents du S.-O. Quoi qu'il en soit, l'action maréométrique, en face du puissant écoulement des eaux douces, ne joue, dans l'espèce, qu'un rôle tout à fait subordonné.

Le lit du canal de pénétration des eaux douces à travers la plage de sable, ou le chenal de jusant, est donc, ici, le fait capital. C'est à peu près toujours la direction que ce lit occupe qui détermine, dans son prolongement, la situation de la passe navigable. Quelles sont les variations que cette direction subit? Il est éminemment utile de savoir à quoi s'en tenir à ce sujet.

Les descriptions locales écrites feraient varier la situation de la passe de l'E. au S.-O. de l'embouchure. Les relevés, dont le langage est plus précis, limitent plus étroitement ces changements de position. Le relevé de 1883 présente bien, dans l'E. du canal de jusant, une passe praticable. Mais ce cas est unique; et, pour toutes les autres époques, la situation de la passe principale ne sort pas d'un angle de 45°, ayant pour sommet le point qu'occupe le thalweg du canal à son débouché et pour côtés les rayons S.-S.-E. et S.-S.-O. du compas. Quant aux sinuosités du lit de jusant, elles sont, en général, assez faibles. En 1883, ce lit formait cependant un crochet à son extrémité. Mais ce cas est le seul; et, après s'être,

de 1849 à 1883, porté vers l'Est, dans une mesure plus ou moins forte, il a tendu vers l'Ouest à partir de cette époque, et occupe depuis lors, d'après M. da Costa Couto, à la suite d'une tempête, une situation peu différente de celle que signalent les relevés de 1890 et 1894.

IV

Si les indications qui précèdent ont bien saisi l'ensemble des faits caractéristiques se rattachant à la *barra* de Rio grande, il ne peut y avoir de doute sur le cas particulier d'embouchure de fleuve en face duquel on se trouve. Ce cas est absolument spécial. L'énorme débit du canal du Nord, la régularité exceptionnelle de ce débit, la faiblesse des marées, celle aussi des apports charriés, enfin la puissance de l'action océanique permanente qui régit la plastique des fonds sous-marins au débouché du canal sont autant de circonstances qui ne se rencontrent au même degré nulle part ailleurs. On n'est certainement pas, ici, dans le cas d'une mer à marées, où il y ait lieu de compter comme facteur important sur la plus facile pénétration du flot dans le cours d'eau affluent, en vue d'augmenter, au jusant, la puissance de chasse de celui-ci. Le massif sablonneux qui obstrue le débouché n'est pas davantage le résultat d'alluvions abondantes venant de l'intérieur. Et tous les exemples de solution qu'on irait chercher dans des cas où l'un des éléments susvisés prédomine ne pourraient fournir, pour le cas actuel, aucune analogie utilisable.

Il peut, malgré ce qui précède, ne pas être sans quelque utilité, par des régularisations du lit d'écoulement des eaux douces et des dragages partiels, d'augmenter — ce qui n'est possible que dans d'étroites limites — leur force de propulsion; il est également légitime de se préoccuper, — c'est là un point de la plus haute importance, —

de fixer les dunes de sable existant le long de la côte, au nord de l'embouchure, de façon à restreindre, sinon supprimer, l'envahissement du canal par les sables et l'extension progressive de l'isthme qui le sépare de la mer. Toutes ces mesures peuvent être des adjuvants utiles et des précautions conservatrices nécessaires. Mais il n'en est qu'une, impérieusement commandée par les causes auxquelles la barre est due, qui puisse assurer la création d'une passe stable, c'est de donner aux eaux que porte le canal du Nord des rives artificielles jusqu'à la rencontre des eaux profondes, en prolongeant ces rives plus ou moins selon le tirant d'eau qu'on veut procurer à la navigation, et plaçant cette passe dans une situation qui, nautiquement favorable, soit telle que l'action du courant océanique la dégage à la fois sûrement, tant des quelques troubles que les eaux douces peuvent apporter que des sables du large que certaines aires de vent peuvent y pousser.

Tels sont, en l'espèce, les termes bien précis du problème à résoudre. Quelles sont les idées émises jusqu'à ce jour à ce propos? C'est ce que nous allons examiner.

Indépendamment des spécialistes nationaux qui se sont occupés de la question, deux Ingénieurs européens bien connus, MM. Hawkshaw et Caland, le premier en 1875, le second en 1885, ont dressé des projets pour la *barra* de Rio grande. Ces projets, le mémoire de M. da Costa Couto indique en quoi ils consistent, en même temps qu'il mentionne celui d'un Ingénieur brésilien, M. Bicalho, et celui, aussi, qu'il propose lui-même de substituer aux projets antérieurs.

Ce dernier projet semble s'écarter assez fortement de la formule posée ci-dessus : les premiers, au contraire, paraissent s'y rattacher plus ou moins étroitement. Tous trois, en effet, par des jetées ou brise-lames enracinés au rivage, vont chercher plus ou moins avant les grandes

profondeurs, tout en plaçant les musoirs de ces jetées, limitant la passe navigable, dans des orientations et à des distances qui diffèrent d'un projet à l'autre.

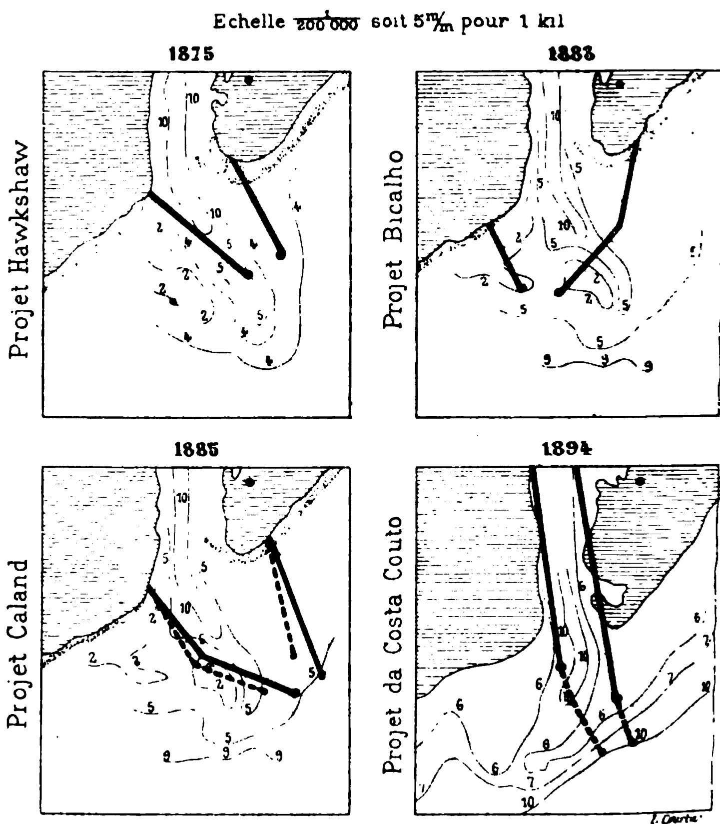


Fig. 4.

M. Hawkshaw, écartant peu ses jetées à leur origine, les portait, presque parallèlement l'une à l'autre, dans le S.-S.-E. de l'embouchure, en suivant la direction occupée alors par le thalweg des eaux douces, et, les prolongeant, avec une longueur ensemble de 6.440 mètres, jusqu'à la

courbe extérieure des profondeurs de 5 mètres, plaçait leurs musoirs, distants entre eux de 1.300 mètres, sous une orientation de gauche à droite se rapprochant beaucoup du N.-E. 1/4 E. M. Caland, venu dix ans plus tard, écartait beaucoup plus, à leur enracinement, ses jetées. dont l'une en chevron brisé, et, avec une longueur totale de 8.300 mètres, en portait les musoirs, distants de 900 mètres seulement, en avant de ceux de M. Hawkshaw, dans une situation qui correspondait, parait-il, en 1885, à un brassiage extérieur de 10 mètres, sous une orientation un peu plus relevée vers le Nord, de façon à rendre la passe tout à fait N.-E. Quant à M. Bicalho, dont le projet, dressé en 1883, est antérieur de deux années au précédent, écartant à leur origine, encore plus que les Ingénieurs précités, ses jetées, d'une longueur ensemble de 6.300 mètres, il allait placer sa passe, large de 1.000 mètres dans le Sud du débouché du canal, sur la courbe extérieure des profondeurs de 6 mètres, sous une orientation de gauche à droite, très voisine de l'Est 1/4 Sud.

Parmi ces projets antérieurs, celui de M. Caland a été, parait-il, remanié. La carte de 1894 de M. da Costa Couto représente les jetées de M. Caland toutes deux raccourcies, ayant à peu près les mêmes enracinements, mais reportées par pivotement vers le S.-O. et présentant une passe plus large, dont l'orientation de gauche à droite se relèverait vers le nord. Nonobstant leur raccourcissement, les jetées modifiées n'atteindraient pas seulement la courbe de 10 mètres de brassiage existant à ce moment, mais la dépasseraient quelque peu. Cette courbe se serait ainsi, de 1885 à 1894, déplacée parallèlement à elle-même et rapprochée de 1 kilomètre environ de l'embouchure du canal.

Quoi qu'il en soit de ce point, qui pourrait, la carte de 1894 fût-elle parfaitement exacte, n'exprimer qu'un état momentané des fonds, la donnée essentielle des pro-

jets sommairement décrits ci-dessus reste pleinemen
évidente. Ces projets — le langage de leurs tracés es
trop clair pour qu'on puisse s'y tromper — sont basés e
principe sur la formule établie plus haut : endiguer le
eaux douces jusqu'à une profondeur qui, sur le tal
extérieur du massif sablonneux sous-marin, correspond
à celle à donner à la passe navigable.

V

Le point de vue ci-dessus indiqué n'est pas celui auq
s'est placé l'auteur du quatrième projet dont il nous re
à parler.

M. da Costa Couto s'est surtout préoccupé des c
ditions défavorables dans lesquelles se produit l'éc
lement du canal du Nord. Ce canal, en effet, présente
sa partie supérieure de très grandes irrégularités. Peu
aval de la ville de Rio grande, il communique, sur
droite, à une lagune peu profonde qui, sans être un obsta
grave, n'est pas une circonstance favorable au mouvem
des eaux ; et, sur sa rive gauche, du côté de l'isthme
le sépare de la mer, il s'épand latéralement, par sa d
nière tranche superficielle de 2 mètres de hauteur, s
de vastes espaces, où se rencontrent quelques cre
épars plus profonds. Dès lors, s'il est exact, ainsi q
l'ont montré les recherches spéciales plus haut menti
nées, que le plan d'eau subisse, avec le débit, des vari
tions notables, il doit arriver que des parties importan
des espaces ainsi envahis couvrent et découvrent alt
nativement, ce qui n'est pas plus favorable à l'hygiène
pays qu'au bon fonctionnement hydraulique du canal.

Il est donc naturel que, dans une étude complète
problème, on se préoccupe de ce point. Le bon amé
gement du lit d'un cours d'eau, aussi bien que la fixat
de ses rives, sont toujours d'excellentes choses. Né

moins, dans l'espèce, le peu d'importance relative des alluvions charriées, et la grande régularité que présente le canal du Nord dans ses parties profondes, notamment dans celles dépassant le brassiage de 10 mètres, paraît, en ce qui concerne l'écoulement proprement dit, donner un caractère fort exagéré à cette préoccupation, qui semble tenir à ce que l'auteur du projet a pris pour exemples, à la suite d'études faites en Europe, des fleuves, tels que la Meuse et le Weser, se déversant tous deux dans une partie de la mer du Nord où les marées ont une montée de 4 à 5 mètres, ce qui est loin d'être le cas, ici, où les oscillations de la mer sont souvent nulles et toujours de très faible amplitude.

Quand les marées ont de l'importance, la puissance d'entraînement de la veine fluide sortant du fleuve dépend surtout des volumes d'eau de mer que le flot y introduit ou y refoule, et qui s'en écoulent, au jusant, en même temps que les eaux douces retenues. Quelques chiffres le feront comprendre. Dans la Gironde, à l'embouchure de laquelle l'oscillation moyenne des marées n'atteint pas 4 mètres, le flot introduit ou refoule, par marée moyenne, en amont d'un point situé à 25 kilomètres de la mer, 900 millions de mètres cubes d'eau, alors que le fleuve, dans le même temps, en fournit à peine la quarantième partie, et, à Bordeaux, distant de 95 kilomètres de la mer, le volume moyen refoulé dépasse encore 5 à 6 fois le débit moyen des eaux douces. Pour la Seine, au débouché de laquelle l'oscillation moyenne de la mer dépasse 5 mètres, le flot, par marée moyenne, fait pénétrer dans son estuaire, moins largement ouvert que celui de la Gironde, un volume égal à 25 fois celui des eaux douces; et, à 22 kilomètres de la mer, au point extrême de la région du fleuve endiguée, le volume moyen des eaux douces n'est encore que le tiers ou le quart des eaux refoulées.

D'après ces chiffres, on conçoit quelle haute importance pratique s'attache, pour la région du fleuve où se reproduisent bi-quotidiennement ces puissants mouvements de va-et-vient, à un parfait aménagement qui, ne se bornant pas à faciliter l'introduction du flot, assure, en outre, au jusant, l'écoulement aussi complet que possible des eaux momentanément retenues.

Mais combien tout cela change, quand, d'une part, les marées perdent de leur amplitude, et que, de l'autre, le volume des eaux douces augmente. C'est ce qui arrive à Rio grande. Dans les exemples cités ci-dessus, le volume moyen des eaux fluviales ne dépasse pas, avec des variations énormes de l'étiage aux crues, 500 à 600 mètres par seconde, ce qui donne, par marée, de 20 à 25 millions de mètres cubes. Dans le même temps, le canal du Nord débite, en moyenne, 230 millions de mètres; et, d'autre part, les calculs qui, relativement à la partie endiguée de la Seine, conduisent à des volumes refoulés variant de 84 à 20 millions de mètres cubes, selon que la montée de la mer varie elle-même de 7 mètres à $3^{m},40$, ne donneraient pas, d'après la loi de décroissance ressortant des chiffres précédents, pour une oscillation des marées de 1 mètre, tout à fait 2 millions de mètres cubes d'eau refoulés (*), c'est-à-dire bien moins de un centième du volume d'eau douce que débite le canal du Nord.

Une étude directe du problème, basée sur des données

(*) A l'oscillation de 7 mètres correspond le volume refoulé $83^{mm},5$; et à l'oscillation $3^{m},40$, le volume $19^{mm},6$. La loi de décroissance est exprimée par la relation parabolique: $y^2 = 2px$, qui, pour $y = 7$ mètres, donne $2p = \frac{49}{83^{mm},5}$, et, pour $y = 3^{m},40$, $x = 19^{mm},7$, nombre très voisin de l'observation. Or, pour l'oscillation $y = 1$ mètre, cette relation donne un volume refoulé de $\frac{83^{mm},5}{49} = 1^{mm},7$. Enfin, pour $y = 0^{m},5$, oscillation certainement bien supérieure à la moyenne, on obtiendrait, pour volume, moins de un demi-million de mètres (425.000 mètres), chiffre absolument négligeable, en face de celui des eaux douces.

recueillies sur place, pourrait modifier légèrement ces déductions analogiques. Mais décuplât-on les chiffres indiqués dans la note ci-dessous, le volume refoulé n'en resterait pas moins, dans l'espèce, presque insignifiant vis-à-vis du volume des eaux venant des *lagoas*.

L'hésitation n'est donc pas possible. Le cas de Rio grande n'a rien de commun avec celui d'un fleuve débouchant dans une mer à marée, et c'est faire fausse route que d'en traiter la solution à ce point de vue.

C'est, cependant, guidé par l'inexacte analogie signalée, que l'auteur du nouveau projet a cru devoir donner au canal du Nord un certain évasement vers la mer. De 1.300 mètres au plan d'eau, à l'amont, il en porte la largeur, vers l'embouchure, à 1.450 mètres environ, ce qui serait favorable au développement des marées, s'il y en avait, mais, en dehors de cela, ne se justifierait que si le canal recevait des affluents, ce qui n'est pas.

Le mieux serait donc de laisser cette largeur constante. Mais, en somme, cette incorrection n'a que peu d'importance. Le projet en renferme une plus grave. Par la régularisation des berges du canal, son auteur espère augmenter dans des proportions notables la puissance de propulsion des eaux et compte ouvrir dans le massif sous-marin une passe stable, sans avoir besoin de prolonger ses jetées jusqu'à une profondeur du talus extérieur correspondant à celle à créer.

Cette augmentation de la puissance de propulsion, — très réelle, lorsque, dans une mer à marées, les travaux ont pour effet, en augmentant le volume pénétrant, d'accroître celui des eaux expulsées au jusant, — est encore, ici, un élément illusoire. La régularisation du canal peut améliorer celui-ci nautiquement, mais elle ne peut avoir pour effet d'augmenter, pour la durée d'une période de quelque amplitude, le seul volume important à considérer, à savoir celui qu'il tire de la *lagoa dos Patos*. Il est même

permis de penser qu'en ce qui touche la *barra* cette régularisation risquerait plutôt d'avoir un résultat fâcheux, car elle pourrait rendre plus différents, des hautes aux basses eaux de la *lagoa*, des débits qu'ilfaudrait, au contraire, si la chose était possible, tâcher d'uniformiser, en toutes saisons, plus qu'ils ne le sont.

Dans son ensemble, en l'espèce, le volume d'eau expulsée ne peut être accru par la régularisation du canal, et ce volume est l'élément principal de sa puissance de propulsion qui, soit qu'on l'évalue comme quantité de mouvement, soit comme force vive, dépend de la masse en mouvement multipliée par la simple vitesse dont elle est animée, ou par le carré de cette vitesse, et, quel que soit le point de vue, un moyen d'accroître cette puissance n'est pas d'évaser le lit vers l'aval, puisqu'on tend ainsi, en augmentant la section, à réduire la vitesse moyenne du courant.

Ajoutons finalement, en ce qui touche l'utilisation de cette puissance de propulsion, dont nous venons de dire le caractère à peu près immuable, que compter sur elle pour produire certains effets à distance c'est encore conclure contre la nature des choses. Une veine fluide n'est pas un projectile dont l'effet de pénétration résulte de la solidarité qui réunit les éléments dont il se compose. Ce qui se passe au débouché du canal du Nord le montre bien. Tant que la veine fluide reste contenue latéralement, la masse agissant utilement sur les fonds ne varie pas ou varie peu. Mais, dès qu'elle cesse d'avoir des rives, si elle peut, comme aujourd'hui, creuser le fond devant elle à certaine distance, elle perd bientôt cette faculté par son épanouissement.

Que l'on tienne compte, pratiquement, dans une certaine mesure, de cette action que l'eau sortant de la passe peut s'exercer sur les fonds au-delà de l'extrémité des jetées, rien de mieux, et nous l'admettons. Seule-

ment, si cette portion du chenal, extérieure aux jetées, au lieu d'être placée sur le talus incliné vers le large du massif sous-marin, que régularise l'action coordinatrice des courants littoraux, coupait, en s'y creusant un lit, des bancs moins avancés vers la mer, il resterait soumis à des perturbations analogues à celles que subissent fâcheusement les passes actuelles; et c'est ce à quoi serait infailliblement exposée la passe du projet qui nous occupe, si elle restait maintenue dans la situation qui lui est assignée.

VI

Dans ce projet, les jetées, disposées en prolongement des rives régularisées du canal du Nord, n'ont, à partir du débouché de celui-ci, qu'une longueur ensemble de $3^{km},600$, dont, pour celle de l'Est, $2^{km},100$; pour celle de l'Ouest, $1^{km},500$; et cette dernière, même ne semble avoir, dans la pensée de l'auteur, qu'un caractère éventuel. La jetée de l'Est, en couvrant la passe contre l'action des vents du Nord-Est, lui paraîtrait suffire à elle seule pour en assurer la création et le maintien.

Cette idée est absolument contraire aux notions exposées ci-dessus. En l'absence de la jetée de l'Ouest, l'épanouissement latéral des eaux, empêché d'un côté, n'en aurait pas moins toute liberté de se produire de l'autre, et, pour avoir été réduites dans une certaine proportion, les causes d'instabilité des fonds n'en seraient pas annulées.

Seulement, — empressons-nous de le dire, — aussi bien que le caractère éventuel de l'une des jetées, le défaut de longueur de l'une et de l'autre, si tant est que ce défaut existe, sont des circonstances faciles à corriger, moyennant le supplément de dépense nécessaire. La question vraiment intéressante au point de vue technique n'est

donc pas là. Ce qui importe, c'est de savoir si, dans la situation qui leur est donnée, ces jetées se prêtent, à l'aide de prolongements convenables, à l'établissement d'une passe, nautiquement bien placée, et dont la stabilité soit certaine. Or rien ne paraît s'opposer à ce qu'il en soit ainsi dans le projet de M. da Costa Couto, modifié en conséquence ; et cela nous conduit à rechercher, d'une façon générale, quelles sont les meilleures conditions de situation et d'orientation de la passe.

Nous allons entrer à cet égard dans quelques développements.

Les projets sommairement décrits dans le paragraphe IV paraissent, avons-nous dit, satisfaire à ce que nous considérons comme la condition essentielle, celle de porter l'extrémité des jetées jusqu'à la courbe du talus extérieur du massif sous-marin dont le brassiage corresponde à la profondeur qu'on veut garantir à la navigation. Mais cette condition n'est pas la seule, et l'auteur du nouveau projet oppose à ses prédécesseurs, notamment à M. Caland, une double objection. Selon lui, la passe de ce dernier, orientée N.-E. serait en prise à des vents qui sont, en général, des vents de tempête ; de plus, l'élargissement que présente, dans la ligne d'enracinement des jetées, le bassin artificiel formé par celles-ci, extérieurement au défilement des rives naturelles, constituerait, suivant M. da Costa Couto, un grave inconvénient pour le mouvement régulier des eaux.

Cette dernière objection, grave dans certains cas, n'a que peu d'importance pour une veine liquide dont les vitesses sont modérées. A l'époque où M. Caland a établi son projet, si l'on envisage l'espace compris, les jetées une fois faites, entre la section la plus rétrécie du canal du Nord, à 2.500 mètres environ à l'amont de son embouchure, et la passe projetée, on se rend compte, en assi-

gnant à cette dernière une profondeur moyenne de 10 mètres, ce qui lui donne 9.000 mètres de section mouillée, que, sur l'intervalle embrassé, de 7 kilomètres suivant l'axe, on a des sections : de 8.000 mètres de superficie, à l'amont; de 12.500 mètres, dans la ligne d'enracinement. A ces trois sections correspondent, de l'amont à l'aval, suivant l'état du débit, des vitesses :

Pour le débit maximum, de...	1m,75,	1m,12	et	1m,56
— minimum, de...	0 48,	0 30	et	0 42

Et, de plus, on s'assure facilement que la pente totale de résistance à la paroi, qui n'est que de 0m,06 environ pour le débit minimum, mais atteint 0m,76 pour le débit maximum, resterait à très peu près la même, si le lit était bien réglé dans l'étendue de la section considérée.

Nul besoin de dire, dans ces conditions, que, pour les faibles états des eaux, l'effet de la variation des vitesses est absolument insignifiant. Quant aux hautes eaux, les variations de vitesse ci-dessus ont pour unique effet de déterminer, dans la section d'aval, un relèvement de 0m,03 par rapport au niveau auquel conduit la pente de résistance à la paroi, et, dans la section intermédiaire, par rapport à la même pente, un surhaussement relatif de 0m,09, double circonstance qui n'affecte que dans des proportions insignifiantes aussi les conditions de ce puissant écoulement.

L'irrégularité du bassin compris entre les jetées n'était donc pas, dans le projet de M. Caland, un défaut d'une gravité appréciable; et cependant l'auteur de ce projet, qui estimait à plus de 8 millions de mètres le cube de dragage à faire à la machine pour ouvrir dans la plage sous-marine le chenal navigable aboutissant à la passe, comptait utiliser ce déblai pour régulariser les sections en en formant, le long de la jetée Ouest, un dépôt inté-

rieur revêtu de fascinages, ce qui eût encore amélioré la situation.

Reste la première objection portant sur l'orientation de la passe.

Pour être discutée à fond, cette question exigerait la connaissance de facteurs dont plusieurs nous font défaut. Nous n'avons que des données imparfaites sur les conditions d'atterrage aux approches du canal du Nord. Toute rade y manque; les ancres tiennent mal, et les navires se hasardent difficilement à passer la nuit aux abords : voilà ce que nous savons. Toutefois, comme cette question ne peut être esquivée dans l'étude que nous avons entreprise, nous allons, en un sens général, dire un mot de la solution qu'elle nous paraît comporter.

A cet effet nous avons, d'après des données fournies par M. da Costa Couto, dressé le schéma ci-joint (*fig.* 5) résumant les résultats d'observations anémométriques faites à Rio grande durant six années et demie consécutives (*), schéma dans lequel les 16 degrés du compas ont été partagés en quatre groupes, dont deux contenant, avec le N.-E. et le S.-O. pour magistrales, les trois aires de vent les plus rapprochées de la direction de la côte, et les deux autres groupes embrassant respectivement, chacun, les cinq aires de vent soufflant de la mer et de la terre.

De ce schéma il ressort que les trois aires de vents du deuxième groupe qui, avec le S.-E. pour magistrale,

(*) Ces observations, embrassant soixante-treize mois, vont de janvier 1877 à juin 1883, et les résultats traduits par le schéma sont exprimés, mois par mois, pour chaque aire de vent, par des longueurs proportionnelles aux carrés des vitesses observées. Les rayons du schéma, en traits forts terminés par des points, qui représentent la somme de ces longueurs mensuelles, n'ont aussi, d'après cela, qu'une valeur proportionnelle. Quant aux arcs de cercle décrits entre les limites de chaque groupe, ils ont respecttivement pour rayon la moyenne des longueurs affectées aux aires de vent de chacun de ces groupes.

sont les plus rapprochées de la normale à la côte n'ont, pour la période entière, qu'une importance relative assez faible, quoique l'aire S.-E. l'emporte assez fortement sur les deux autres, ce qui semblerait indiquer que l'objection

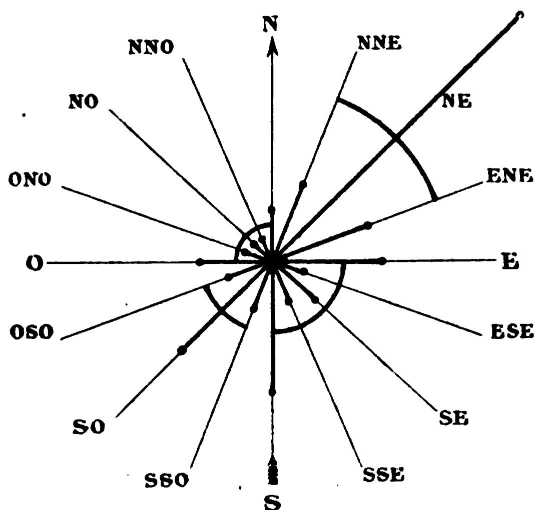


Fig. 5.

M. da Costa Couto est peu fondée. Mais la fréquence dit pas tout. Il est d'autres circonstances que les nnées qui nous ont servi de base ne peuvent révéler, et le les marins sont plus aptes à apprécier. Ce sont eux i parlent dans les observations sur le régime des vents Rio grande que donne le *Pilote du Brésil* et que nous lons résumer.

Ce document nautique indique bien que les vents domints sont ceux du N.-E., variables de part et d'autre ns des angles de 45°, qui soufflent de novembre à mai, lle saison de l'hémisphère austral, tandis que les vents posés de la région S.-O., variables dans des angles nilaires, soufflent surtout dans la mauvaise saison en n, juillet et août.

Les vents de N.-E., quand ils s'élèvent, augmentent progressivement et durent de trois à cinq jours. Quand ils deviennent très vifs, une saute se produit, et le vent de S.-O., ou pampeiro, débute violemment par un grain subit, annoncé toutefois, plusieurs heures à l'avance, par l'ascension de la mer et une houle de fond sur la *barra* de Rio grande.

Quant au vent d'E., qui succède en général au N.-E., et au vent du S. qui vient souvent après le S.-O., ils soufflent assez fréquemment, mais le S.-E., moins fréquent qu'eux, est, en revanche, presque toujours extrêmement violent et soulève une grosse mer.

L'objection de M. da Costa Couto n'est donc pas sans valeur. Il est à remarquer toutefois que deux spécialistes éminents ne s'y sont pas arrêtés. En dirigeant, en 1875, l'axe de sa passe à peu près dans l'orientation S.-E., M. Hawkshaw ne faisait à la vérité que suivre la direction qu'avait, à cette époque, le chenal des eaux douces. Mais, venu dix ans plus tard, à la suite des études de M. Bicalho, et en possession de celles d'une Commission locale, M. Caland, quoique trouvant le chenal des eaux douces dirigé vers le S.-S.-O., portait sa passe à l'Est et la dirigeait plein S.-E., sans se laisser arrêter par la prévision qu'il faudrait draguer à la machine plus de 8 millions de mètres cubes de sable, pour mener jusqu'à elle le chenal artificiel nécessaire. En agissant ainsi, M. Caland a-t-il bien pesé toutes les considérations pour et contre? En plaçant sa passe de cette façon, il la mettait, à la vérité, dans la situation la plus favorable pour que les apports extérieurs fussent enlevés par les courants littoraux. Mais les considérations nautiques ne devaient-elles pas l'arrêter? Avec le développement que prend la propulsion à vapeur, avec les ressources de remorquage que tout grand port possède aujourd'hui, a-t-il jugé qu'il n'y avait pas d'inconvénient sérieux à ouvrir dans une aire de

vents rares, mais violents quand ils soufflent, une passe d'une largeur de 900 à 1.000 mètres, dans laquelle il est toujours possible de gouverner, quelque soit le sens du mouvement? Ces diverses questions ont dû être pesées par lui sur place ; et il est permis d'en conclure que les objections opposables au parti qu'il avait adopté n'ont pas paru assez sérieuses à un spécialiste habitué aux difficultés nautiques, bien autrement fortes, que présentent les parages de la mer du Nord, pour le faire renoncer à cette disposition.

Quelles conséquences tirer de cet examen sommaire? C'est, semble-t-il, que, s'il y a quelque inconvénient possible, mais non imprudence absolument grave, à diriger au S.-E. l'axe de la passe à créer, il y en a certainement moins à ouvrir cette passe normalement aux aires de vent allant du S.-S.-E. au S.-S.-O. avec le plein Sud pour magistrale. Et la seule question à résoudre, quand on ne sort pas de cet angle de 40 et quelques degrés, c'est de pousser les jetées jusqu'à une situation qui assure la stabilité des fonds au dehors.

A cet égard, MM. Hawkshaw et Caland avaient parfaitement résolu le problème. Quant à M. Bicalho, quoique depuis une longue période le chenal naturel des eaux douces incline vers le S.-O., la situation choisie par lui était loin d'offrir les mêmes garanties. Mais, quant au nouveau projet, — et c'est là ce qui nous intéresse, — rien n'empêche de les obtenir en prolongeant convenablement les jetées en continuation des rives rectifiées du canal du Nord.

Comment effectuer ce prolongement? jusqu'à quelle courbe de profondeur conduire les jetées? et quelle largeur donner à la passe? Ce sont les derniers points à déterminer.

De ces trois points, les deux derniers doivent être examinés avant le premier, et ils ont eux-mêmes entre

eux une étroite connexité. Dans le mémoire de lui qui nous est connu, M. Caland n'explique pas les considérations d'après lesquelles il s'est décidé. Résolvons le problème d'après les conditions qui le déterminent.

Sur quelle courbe de profondeur placer la passe? La réponse est facultative. M. Hawkshaw disait 5 mètres; M. Bicalho, 6 mètres; M. Caland, de 8 à 10 mètres. Nous pensons que c'est ce dernier chiffre qu'il faut adopter, dans l'espèce. Le tonnage des navires ne cesse de croître. La profondeur de 8 mètres est aujourd'hui la jauge régulatrice de tous les ports de commerce sérieux. La marine de guerre exige davantage : 10 mètres ne sont pas de trop pour les cuirassés de premier rang; et le canal du Nord peut fournir un chenal dépassant notablement cette profondeur. Quel magnifique port de refuge constituerait dans ces conditions la *lagoa dos Patos* pour les flottes de la République des États-Unis du Brésil! Raisonnons cependant sur 8 et 10 mètres. Il n'y a guère que ces deux chiffres entre lesquels opter.

Cela posé, quelle largeur donner à la passe? Ce point est à régler d'après le volume des eaux douces expulsées. Des chiffres ont été produits précédemment. Sont-ils parfaitement exacts? Nous n'en pouvons répondre; mais ils sont admissibles. En mettant en présence les trois données : volume minimum, 3.800 mètres; volume maximum, 14.000 mètres; volume moyen, 5.100 mètres; il est facile de se rendre compte qu'un raccordement rationnel de ces données conduira aux résultats suivants.

Nombre de jours pendant lesquels l'écoulement sera compris :

Entre	3.800	mètres	et 5.100	mètres.....	270	jours
—	5.100	—	et 10.000	—	70	—
—	10.000	—	et 14.000	—	25	—
			Ensemble	....	365	jours

La période des basses eaux au-dessous de 5.100 mètres est longue ; elle comprend les 3/4 de l'année ; celle des hautes eaux n'en comprend que le 1/4, et la fraction extrême des eaux très fortes est assez courte pour être négligeable au point de vue des difficultés d'accès que le courant dans la passe peut offrir à la navigation. Il est donc rationnel de tabler sur le débit moyen. En admettant, pour ce débit, la vitesse, dans la passe, de $0^m,60$ par seconde (soit $1^n,2$), la vitesse reste encore, aux plus basses eaux de $0^m,45$ environ (soit $0^n,9$) ; et, pour les débits élevés, la vitesse ne dépasse pas :

Pour celui de 10.000 mètres,	$1^m,18$	par seconde	$(2^n,3)$
— 14.000 —	$1^m,65$	—	$(3^n,2)$

Ces dernières vitesses n'ont rien d'excessif ; et celles correspondant aux basses eaux ne sont pas non plus trop faibles. La vitesse moyenne $0^m,60$ paraît donc bien choisie.

Cette vitesse entraîne pour la passe une section en mètres carrés donnée par le rapport $\frac{5.100^m}{0^m,60} = 8.500^m,00$.

D'où :

Pour la profondeur de 8 mètres, une largeur de....	$1.062^m,50$
— — 10 — —	$850^m,00$

C'est à cette dernière solution que nous nous rattachons.

Si l'on s'en rapporte à la carte hydrographique de 1894, il y aurait d'ailleurs bien peu de différence entre elles, quant à la longueur des jetées.

Dans la direction, légèrement inclinée à l'Est de l'embouchure, où la passe se trouve naturellement portée, les courbes des brassiages 7 à 10 mètres ne sont moyennement écartées entre elles que de 300 et quelques mètres, ce qui conduit à 200 mètres pour intervalle moyen de celles de 8 et de 10 mètres. Le tracé des jetées peut donc

être dirigé dans le même sentiment pour les deux cas. et celui indiqué dans le prolongement des jetées de M. de Costa Couto nous paraît la solution préférable.

En admettant ce parti, la longueur totale des jetées serait jusqu'à la courbe de 10 mètres, de 6^{km},900, dont 3^{km},100 pour la jetée de l'Est avec prolongement de 1 kilomètre et 3^{km},800 pour celle de l'Ouest avec prolongement de 2^{km},300. Quant au tracé en plan, il pourrait s'effectuer en ramenant vers l'Est la jetée rive droite du canal, suivant un arc de circonférence d'environ 5 kilomètres de rayon tangent à peu de distance de l'enracinement, et prolongeant par un arc de même sens celle rive gauche de façon à laisser entre leurs musoirs, légèrement évasés vers le dehors, un intervalle de 850 mètres.

Dans ce système, si les digues de régularisation des berges du canal du Nord restaient tracées comme l'indique le nouveau projet, ce canal présenterait, dans sa partie extérieure au défilement de la côte, un évasement, du genre de ceux que critique l'auteur du projet, correspondant à une différence entre la largeur de 850 mètres dans la passe et celle de 1.400 mètres vers l'enracinement des jetées. Cet évasement n'entraînerait, pensons-nous, aucun inconvénient de quelque gravité, et il pourrait même avoir quelques avantages pour la navigation, en tant qu'avant-port. Toutefois, au point de vue de l'écoulement, il serait préférable que la largeur du canal à son extrémité ne dépassât pas 1.100 mètres ou 1.200 mètres, si même on ne la réduisait à 1.000 mètres.

Ce sont là des détails sur lesquels il serait, dans une étude aussi sommaire que celle-ci, inopportun d'insister.

Une question bien autrement intéressante est celle de savoir ce qui adviendrait avec le temps de la passe et des plages sous-marines, comme conséquence de la construction des jetées. Pour répondre à cette question, des éléments essentiels nous manquent : c'est, d'une part.

quantité de sable sec des dunes transportée par le vent, et, de l'autre, celle du sable marin drossé sur les fonds par les courants littoraux et les lames agissant dans le même sens.

Nous avons déjà dit combien il importe qu'on fixe aussi bien que possible les sables des dunes, surtout au Nord-Est de l'embouchure du canal. Il est à croire que la chasse du puissant cours d'eau, une fois régularisé, serait toujours suffisante pour charrier au dehors la faible quantité qui, projetée dans le lit, tendrait à réduire le débouché.

Quant au sable marin cheminant sous l'eau, il est probable que celui drossé durant l'hivernage par les vents de la partie du Sud-Ouest viendrait successivement se loger dans l'angle rentrant compris entre la jetée de l'Ouest et la côte. Là l'estran sous-marin s'exhausserait, et il s'y produirait à la longue des bancs émergents. Seulement la difficulté d'accumulation des sables augmenterait avec l'accroissement même de leur élévation. Les talus avoisinant la courbe de 10 mètres se raidiraient de plus en plus, et finalement le sable drossé vers le Nord franchirait la passe sans s'y arrêter.

Ce que nous venons de dire du sable drossé, en hiver austral, reste encore vrai, terme pour terme, de la quantité, plus considérable, drossée en belle saison, par le vent et les lames de la partie Nord-Est. Il est à croire que, de ce côté, l'accumulation aurait plus d'importance que de l'autre, et qu'il faudrait, avec le temps, pourvoir à des moyens d'enlèvement, ainsi que cela est nécessaire aux approches de beaucoup de ports à marées en plages de sable. Y aurait-il, de ce chef, dans l'avenir, une dépense d'entretien considérable? Les faibles changements intervenus, sous l'action libre des sables, durant une période de cinquante ans, à l'embouchure du canal ne permettent pas de le supposer.

En définitive, grâce, d'une part, à la puissance excep-

tionnelle d'écoulement et à la régularité du débit des eaux du canal du Nord; de l'autre, à la force régulatrice, exceptionnelle aussi, des courants littoraux en cette région, la possibilité technique de créer au débouché de ce canal une passe stable, aussi profonde que peuvent l'exiger les besoins les plus largement compris de la navigation commerciale et de la marine militaire, ne peut faire l'objet d'un doute. Il suffit de le vouloir, et de pouvoir y consacrer les ressources nécessaires. A ces conditions, l'ancien empire de Santa-Cruz possédera, à Rio grande, un établissement maritime d'une valeur inestimable.

Attaché au Brésil, que nous avons servi dans notre jeunesse, par des souvenirs précieusement conservés, nous avons été séduit par l'idée d'apporter à cette question intéressante un concours si modeste qu'il fût. Des hommes éminents l'ont étudiée et bien étudiée. Ce qui importe, pour la solution de tout problème de ce genre, c'est de ne pas se laisser détourner du but par de fausses analogies. Nous faisons des vœux, s'il en est encore temps, pour que la réalisation échappe à ce danger et se poursuive d'après les seules données rationnelles de la question que nous avons essayé de mettre en lumière.

N° 26

NOTE

SUR LES

FATIGUES RÉELLES ET LES FATIGUES CALCULÉES

DANS UN PONT A GRANDES MAILLES

Par M. MESNAGER, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Exposé. — Ayant eu à remettre au mois d'octobre dernier une partie de la ligne de Nontron à Sarlat à la Compagnie d'Orléans, nous avons profité des épreuves réglementaires des ponts métalliques pour faire quelques mesures des efforts locaux au moyen des appareils Manet-Rabut. Ces mesures avaient principalement pour but de déterminer l'importance des efforts secondaires dans le treillis d'un pont en acier à poutres en N de $54^m,50$ de portée d'axe en axe des appuis munies de goussets du type ordinaire. Les grandes valeurs des efforts secondaires et leur allure générale bien nette nous paraissent donner un certain intérêt aux résultats et à leur comparaison avec ceux qu'on pourrait déduire de calculs.

Description des ouvrages. — La ligne comportait deux ponts métalliques de même ouverture, ayant des superstructures métalliques identiques, situés l'un sur l'Isle, à Corgnac, l'autre sur l'Auvézère, à Mouney. Le pont de Corgnac est en palier et en alignement droit; le pont de Mouney en pente de $0^m,02$ et en partie en courbe. Nous avons fait porter les expériences sur le premier, pour

lequel des calculs rigoureux étaient plus facilement réalisables.

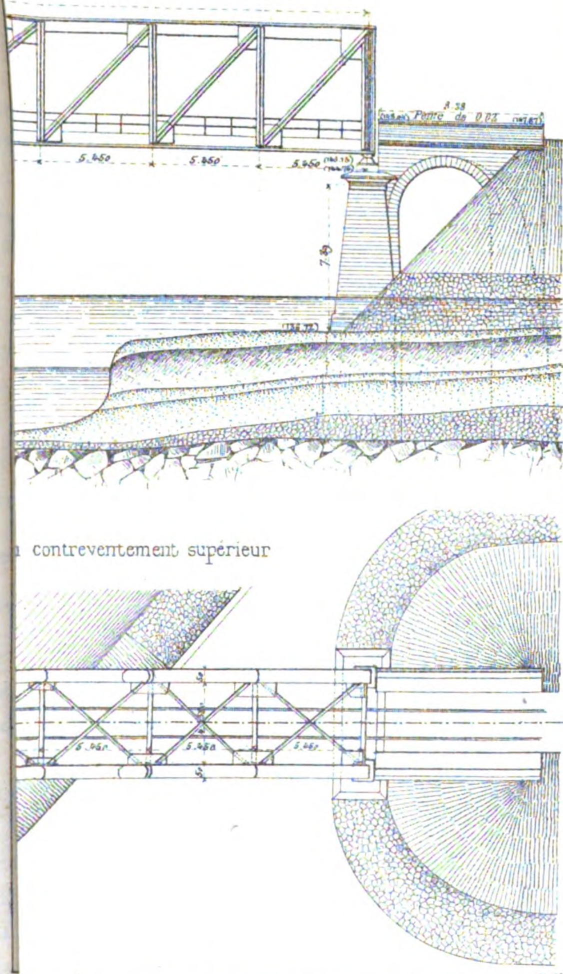
Les dimensions et dispositions de la partie métallique sont définies par les dessins ci-joints (Pl., page 224 *bis* et n° 17) (*); nous croyons donc inutile d'en donner une description écrite. Notons seulement que la rotule des balanciers d'appuis est une surface cylindrique en acier coulé de 252 millimètres de rayon; la corde de l'arc sur lequel s'exerce la pression a 250 millimètres.

Renseignements sur les expériences et leur discussion. — Les expériences ont été faites avec un train en double traction remorqué par les locomotives du type le plus lourd du réseau d'Orléans. On trouvera les poids par file de rail et les écartements d'essieux dans les calculs numériques (*Annexe n°* 1). Les appareils pour la mesure des fatigues étaient conformes à la description donnée par M. Rabut dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (livraison d'octobre 1896); tous étaient montés avec tige de $0^m,20$. L'aiguille se déplaçait d'une grande division pour une fatigue de 5 kilogrammes par millimètre carré, en admettant que le coefficient d'élasticité du métal fût 20×10^9 (le mètre et le kilogramme pris pour unités). La lecture de chaque appareil a été faite avant d'engager le train sur l'ouvrage, puis, quand la première roue atteignait successivement chaque pièce du pont, enfin après qu'il avait quitté le pont.

Les expériences n'ont porté que sur la demi-poutre qui se trouvait à la gauche du train et vers l'extrémité par laquelle il sortait du pont. Le train allant de Nontron vers Sarlat, on a opéré sur la demi-poutre gauche, côté Sarlat.

(*) Ne disposant pas pour le moment d'un dessin d'ensemble du pont de Corgnac, nous avons donné celui du pont de Mouney; mais, *nous le* répétons, les superstructures sont identiques. Les quatre appuis sont seulement au même niveau, à Corgnac.

L'AUVÉZÈRE



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Les pièces étaient numérotées en allant de Sarlat vers Nontron, en sens inverse de la marche du train.

Pour pouvoir tirer des conclusions des expériences, il est nécessaire de comparer les fatigues observées aux fatigues calculées. Les calculs du projet avaient été faits avec le train-type, les résultats n'étaient pas comparables aux résultats expérimentaux. Il a donc fallu reprendre les calculs en prenant comme base le train qui a servi aux expériences.

Pour les projets, le règlement prescrit de déduire les trous de rivets. Les appareils dont nous disposons aujourd'hui ne permettent pas de déterminer la fatigue en un point, mais seulement la fatigue moyenne sur une longueur de 20 centimètres. Les sections qui se trouvent sur une pareille longueur sont, les unes percées de trous de rivets, les autres non. Avec des rivets de 20 millimètres espacés de 10 centimètres, il n'y a guère que $\frac{2}{10}$ de la longueur totale formée de sections réduites par les trous; d'autre part, les trous ne représentent pas en général plus de $\frac{2}{10}$ des sections. Dans les pièces tendues, l'accroissement d'allongement dû à la réduction des sections par les trous de rivets est au plus $\frac{2}{10} \times \frac{2}{10} = \frac{4}{100}$.

D'autre part, les têtes de rivets participent aux efforts par suite du serrage. Il en résulte que les appareils mesurent très sensiblement la fatigue, trous de rivets non déduits.

Nous avons donc divisé les efforts par les sections brutes *Annexe II*.

Dans l'*Annexe III*, nous avons conservé pour chaque pièce les fatigues simultanément observées qui correspondaient à la position du train donnant expérimentalement la plus grande de toutes. Nous avons fait la comparaison entre cette

fatigue et celle du calcul pour la même position du train.

Nous savions d'avance que nous obtiendrions expérimentalement des fatigues plus grandes que les fatigues calculées. Le calcul avait été fait, comme il se fait toujours par raison de simplicité, dans l'hypothèse d'articulations. Les encastrements qui existent à l'extrémité des pièces ajoutent aux efforts ainsi déterminés, des efforts de flexion qu'on néglige systématiquement, bien que non négligeables. On les néglige uniquement parce que leur détermination est trop laborieuse. Le résultat de cett pratique est de substituer à la détermination des effort *réels* celle des efforts *moyens* dans chaque section. Il e donc certain *a priori*, puisqu'il y a encastrement, q certains efforts *réels* seront plus grands que les effo *moyens*, d'autres plus petits.

Les coefficients de sécurité ont précisément pour but de tenir compte de ces imperfections de la théorie.

Les appareils dont nous disposions étaient montés s griffes de 2 centimètres. Les expériences n'ont pu port que sur des pièces de moins de 2 centimètres d'épaisseu c'est ce qui explique pourquoi on n'a pas fait de lectur sur toutes les ailes des montants et diagonaux et surto sur la plupart des points des membrures. Exceptionnellement un appareil a pu s'engager sur l'aile de V_2 perpe diculaire à la voie; on n'a pu en trouver un second à l opposer.

On a choisi sur les montants et diagonaux des poi voisins des goussets d'attache, parce qu'il résulte de théorie et d'expériences antérieures que les efforts seco daires ont leur plus grande valeur en ces points. Vers milieu des pièces, les efforts secondaires sont généra ment bien moindres.

Triage des résultats expérimentaux. — Sur l'ép (Pl. 18) on a porté en traits pleins les résultats exp

mentaux obtenus en appliquant la règle de M. Rabut, c'est-à-dire en comparant la lecture sous la surcharge à la lecture sans surcharge qui l'a précédée ou l'a suivie en choisissant le sens qui correspond à une compression. Cette règle a pour but d'éliminer le jeu de l'appareil en prenant toujours les lectures après une compression. Mais les agents qui ont fait les lectures n'étaient pas rompus à la manœuvre des appareils, et toutes les premières lectures n'ont pas été faites après un mouvement de vis équivalent à de la compression. De plus, le jeu de l'appareil ne représente qu'une faible erreur, tandis que les variations de la température, surtout l'échauffement causé par les rayons directs du soleil, produisent des différences considérables entre les lectures, pour peu qu'il y ait un peu d'intervalle entre elles. Aussi avons-nous jugé utile d'ajouter, à titre de vérification, en pointillé, les résultats obtenus en faisant la comparaison avec la lecture négligée par M. Rabut.

Pour échapper à l'influence perturbatrice du soleil, autant que possible, nous avons fait mettre les appareils en place avant le jour, et les opérations ont été commencées avec l'aurore. La première série de lectures, celles des appareils placés à la partie supérieure des pièces V_2, D_2, V_3, D_3, V_4, D_4, V_5, D_5 a pu être faite dans ces conditions. Aussi y a-t-il une frappante coïncidence entre le trait plein et le trait pointillé. On peut avoir assez grande confiance dans ces constatations ; toutefois une erreur de lecture peut toujours entacher une mesure particulière. Si nous avions disposé d'un temps suffisant, nous aurions éliminé cette cause en répétant les expériences avec des lecteurs différents.

Les efforts mesurés à la base des mêmes pièces n'offrent plus la même garantie. Il n'y a presque jamais coïncidence. Le soleil commençait à se faire sentir. La première série de lectures (celles faites aux extrémités supérieures de ces pièces) montre qu'à l'échelle de l'épure

il n'y a pas d'erreur sensible de fermeture, quand le temps est favorable. Il en résulte que les fatigues réelles sont certainement comprises entre les valeurs jointes par un trait pointillé et les valeurs jointes par un trait plein. Les efforts réels seront représentés par un trait plus voisin de l'un ou de l'autre, selon qu'il se sera écoulé un temps plus ou moins long entre les lectures dont les différences ont servi à déterminer l'un ou l'autre trait. Il résulte de cette remarque et de la marche suivie lors des expériences que, pour les efforts d'extension près du milieu, on doit se rapprocher du trait pointillé et près du bout du trait plein. Le contraire a lieu pour les efforts de compression.

La troisième série de lectures a porté sur V_1, D_1 et les membrures. Le soleil plus ardent a gêné encore davantage; les appareils ne sont jamais revenus à leur point de départ dans cette série.

Les hachures indiquent ce que nous considérons comme les résultats les plus probables à déduire de ces expériences. Pour l'extension, il y a lieu de prendre le tiers environ de la différence à partir du trait plein; pour la compression la même proportion environ à partir du trait pointillé pour ce dernier panneau.

Les résultats expérimentaux étant ainsi triés, il est possible de passer à l'examen des conclusions à en tirer.

Comparaisons des résultats du calcul et de l'expérience. — Les efforts calculés coïncident en général assez bien avec la moyenne des efforts observés. Toutefois, dans les diagonaux, notamment, ils sont plus faibles que la moyenne des efforts observés. On se rend compte assez facilement qu'il doit bien en être ainsi. La rigidité des assemblages et des pièces doit diminuer, dans une certaine mesure, les efforts longitudinaux dans les montants et diagonaux.

On peut, en effet, pourvu que les membrures et les montants soient bien rigides, couper les diagonaux sans compromettre la stabilité de l'ouvrage. On obtient ainsi le pont Vierendeel qui a été essayé à la dernière Exposition de Bruxelles. Puisque la rigidité des membrures et montants permet de supprimer les diagonaux, on peut en conclure que, lorsqu'ils existent, les diagonaux sont soulagés par la résistance transversale des montants.

Par un raisonnement semblable, on verrait que la raideur des diagonaux intervient pour soulager les montants. Toutefois la raideur des diagonaux à cause de leur longueur étant relativement moindre, cet effet doit être moins sensible que le précédent.

Ces réductions d'efforts sont en général faibles. Sur D_5 toutefois la réduction est assez considérable ; mais là il y a un motif particulier. Le calcul ne tient pas compte du montant V_6. Il reporte directement sur la semelle supérieure une partie de la surcharge appliquée à sa base, et celle-ci la reporte sur V_5. Donc, par suite de l'existence de ce montant, une partie de la charge est reportée sur V_5 par une autre voie que D_5.

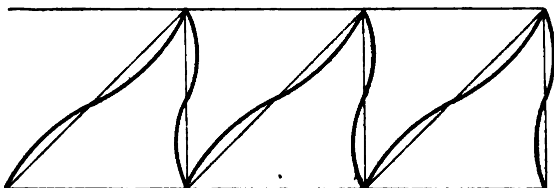
Efforts secondaires. — Ce qui est plus frappant à l'examen de l'épure, c'est la différence considérable qui existe entre les fatigues observées sur les deux bords opposés d'une même pièce dans l'élévation longitudinale. Il en résulte que la fatigue maxima est très notablement supérieure à la fatigue moyenne.

Dans le pont considéré, les pièces de pont étaient très rigides ; elles avaient une hauteur forte relativement à la longueur, 0^{m},70 pour 5^{m},01, soit $\frac{1}{7}$. Dans le treillis les efforts secondaires dans le sens transversal au pont devaient, par suite, avoir peu d'importance. En effet, sauf

au montant V_4, il n'y a pas de dépassement sensible de l'effort calculé dans le sens transversal.

Il n'en est pas de même dans le sens longitudinal, comme nous l'avons dit. Les différences sont considérables.

L'examen de l'épure (Pl. 18) met très nettement en évidence ce fait qui a déjà été prévu par la théorie (Voir : 1° Note de M. Ritter, *Application de la statique graphique*, par *Maurice Kœchlin*, 1889, p. 118 ; 2° et Mémoire de M. Jacquier, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1893, I, p. 1142) : quand la membrure est raide relativement aux montants et diagonaux, la déformation de ceux-ci affecte la forme générale suivante dans une poutre Pratt.



D'une façon générale, les montants et diagonaux se déforment de façon que leur partie inférieure se porte du côté du centre par rapport à la droite joignant leurs extrémités, leur partie supérieure du côté opposé.

Les expériences n'ont montré d'exception que pour la base du premier montant. En ce point, la méthode de raisonnement doit être en effet en défaut, parce que : 1° là, la rigidité de la membrure et celle du montant ne sont pas notablement différentes; le montant peut donc réagir sur la membrure en se redressant lui-même et en faisant fléchir celle-ci; 2° la réaction de l'appui peut passer par un point de la base du montant assez variable, ici surtout où le rayon de courbure de l'articulation était grand (0^m,252). Le frottement peut déplacer cette résultante vers la droite ou vers la gauche, suivant que la

charge augmente ou diminue, de $\frac{0^{m},252}{6} = 0^{m},042$, ce qui est considérable.

Il nous a paru intéressant de rechercher si les efforts secondaires affectaient des valeurs différentes de celles que donnent les méthodes de MM. Ritter et Jacquier, méthodes qui sont identiques au fond. Il suffit de multiplier la fatigue moyenne la plus grande qu'indique le calcul par $1 + 9\frac{b}{l}$ (b largeur de la pièce, l longueur libre) pour avoir la plus grande fatigue totale dans les verticaux et par $1 + 7\frac{b}{l}$ pour les diagonaux.

Les résultats de la comparaison de ce calcul avec l'expérience sont indiqués dans le tableau suivant. On y a porté, comme fatigue maxima, la moyenne des deux observations de la plus grande fatigue faite à la partie supérieure des pièces.

Désignation des pièces	Fatigue moyenne maxima d'après le calcul	Coefficient $1 + 9\frac{b}{l}$	Fatigue totale maxima d'après le calcul	Fatigue maxima d'après l'observation	Désignation des pièces	Fatigue moyenne maxima d'après le calcul	Coefficient $1 + 7\frac{b}{l}$	Fatigue totale maxima d'après le calcul	Fatigue maxima d'après l'observation
V_1	1,82	2,33	4,23	3,57	D_1	4,64	1,525	7,06	6,27
V_2	2,77	2,06	5,71	8,38	D_2	4,45	1,46	6,49	6,30
V_3	2,52	1,93	4,85	5,65	D_3	4,31	1,394	6,01	6,27
V_4	2,17	1,8	3,90	3,95	D_4	3,39	1,328	4,5	4,27
V_5	1,82	1,665	3,03	3,25	D_5	2,45	1,354	3,31	2,33

On remarquera qu'en ce qui concerne les diagonaux, la concordance est satisfaisante. Il n'y a qu'un petit dépassement pour D_3. Il n'en est pas de même en ce qui concerne les verticaux. Il y a des dépassements importants à V_2 et V_3. En ce qui concerne V_2, nous sommes portés à croire à une erreur de lecture par excès. L'effort maximum diffère beaucoup en haut et en bas, tandis que, pour

la plupart des autres pièces, la différence est faible. L'effort moyen résultant de la lecture est beaucoup plus fort que l'effort calculé, contrairement à ce qui se produit ailleurs. Mais, même en prenant pour bornes les lectures du bas au lieu de celles du haut, on trouverait un petit dépassement : 6 kilogrammes au lieu de $5^{kg},71$.

Pour le montant V_4, si l'on se reporte aux lectures faites au bas de la pièce, on trouve aussi un dépassement.

Donc, d'une façon générale, les expériences paraissent indiquer, pour les montants, des efforts secondaires un peu plus forts que ceux donnés par le calcul.

En suivant une autre méthode, en prenant la différence des fatigues observées sur les deux côtés d'une pièce et en divisant par la somme de ces fatigues, nous avons recherché si nous retombions sur les coefficients $9\frac{b}{l}$ et $7\frac{b}{l}$. Nous avons trouvé très sensiblement la même valeur pour les diagonaux.

Pour les verticaux, les résultats trouvés sont supérieurs de 36 0/0 en moyenne.

Il n'est pas très surprenant qu'il n'y ait pas concordance complète entre les résultats expérimentaux et ceux tirés des méthodes de MM. Ritter et Jacquier. Car, d'une part, ces méthodes sont basées sur des hypothèses qui ne sont pas toutes applicables rigoureusement au cas particulier.

1° Les fatigues sont sensiblement les mêmes dans toutes les pièces ;

2° Les goussets sont très petits.

Les goussets ici ne sont pas négligeables. Il est facile de tenir compte de leurs dimensions. Soit AB un montant, α l'angle calculé par la méthode ordinaire.

Soit AC la longueur du gousset.

L'angle α est remplacé par l'angle β.

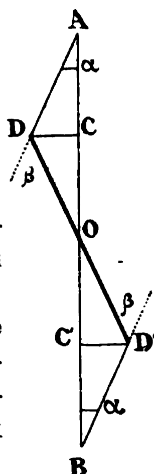
On a :

$$\beta = \alpha + O \qquad O \cdot CO = \alpha \cdot AC$$

$$\beta = \alpha\left(1 + \frac{AC}{CO}\right).$$

Ici :

$$\frac{AC}{CO} = 0{,}66.$$



Donc les efforts secondaires calculés devraient, pour tenir compte des dimensions du gousset, être multipliés par 1,66.

D'après ce que nous avons vu, cela ne se produit pas ; par conséquent les efforts secondaires calculés, en supposant les membrures infiniment rigides par rapport aux montants, sont exagérés.

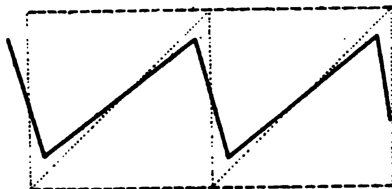
L'expérience confirme qu'il y a bien réaction des montants et diagonaux sur les membrures qui s'infléchissent en forme d'S.

Ici les montants ne supportent guère que 0,82 et les diagonaux 0,60 des efforts qu'on aurait avec des membrures infiniment rigides.

De la valeur des efforts secondaires mesurés on peut déduire le déplacement des résultantes dans les montants et diagonaux. Dans les montants, l'écart (puisqu'il y a parfois renversement de la fatigue) amène la résultante près du bord du noyau central ; dans les diagonaux elle reste à l'intérieur. Le calcul donne, pour demi-largeur de ce noyau, de $3^{cm},5$ à $1^{cm},5$. L'écart est moindre que le dixième de la largeur des pièces. On s'explique ainsi que les efforts principaux et, par suite, la fatigue moyenne, soient peu différents des valeurs calculées. Les efforts sont dirigés suivant les traits pleins, les traits pointillés indiquant l'axe des pièces dans le croquis suivant. Dans ce croquis les écarts sont très exagérés.

On remarquera que ces résultantes se rencontrent en dedans des lignes d'axe des membrures.

On pourrait perfectionner les formules citées plus haut, en tenant compte de la rigidité relative des pièces du treillis et des membrures. Il suffirait de supposer que la déformation est égale et de même sens en deux nœuds successifs, autrement dit que chaque tronçon de membrure



coupe la ligne joignant ses extrémités en son milieu, ce qui n'est pas loin de la vérité. On écrirait que la somme des moments dus aux réactions des quatre pièces qui aboutissent à un même nœud est nulle, ce qui est une condition d'équilibre. On en déduirait l'angle de flexion de la membrure.

Finalement les coefficients 9 et 7 des formules $1 + 9\frac{b}{l}$ et $1 + 7\frac{b}{l}$ se trouveraient remplacés par des fonctions assez simples des $\frac{I}{l}$ des quatre pièces aboutissant aux nœuds. Mais cela compliquerait trop le calcul pour n'arriver qu'à un résultat approximatif.

Conclusions. — En résumé :

1° Les efforts dits secondaires sont loin d'être négligeables. Ils peuvent donner des fatigues atteignant 200 0/0 de la fatigue due aux efforts principaux (montant V_2 en haut) ;

2° Les formules approximatives très simples dont on dispose aujourd'hui pour le calcul des fatigues secondaires donnent des résultats trop forts (de 18 à 40 0/0 dans l'exemple ci-dessus).

Il ne semble pas qu'on puisse augmenter leur exactitude sans les compliquer d'une manière exagérée.

Il serait donc à désirer qu'on pût s'affranchir des fatigues secondaires par des types de construction satisfaisants.

Périgueux, 10 janvier 1899.

P. S. — Peu avant de donner le bon à tirer du présent article, nous recevions communication du procès-verbal des épreuves faites par les représentants du contrôle et des Compagnies intéressées sur le pont que la Compagnie d'Orléans a bien voulu faire exécuter, d'après nos indications, sur la ligne de Saint-Aignan à Blois. Nous croyons intéressant de l'y joindre à titre de quatrième annexe.

Ce pont (Voir le dessin Pl. p. 236 *bis*), d'une ouverture de 40 mètres, porte une voie de 1 mètre. Les pièces de treillis sont munies du joint flexible que nous avons proposé dans deux notes parues aux *Annales* (1896, 2e semestre, p. 750; et 1898, 2e trimestre, p. 300). Les appuis possèdent deux articulations à axes horizontaux et perpendiculaires. Les pièces de pont sont suspendues dans l'axe des poutres principales par des tôles minces.

Lors des épreuves *on n'a pas constaté de renversement d'efforts, ni de différences comparables à celles que nous signalions plus haut*. N'ayant pas assisté à ces épreuves (nous étions à ce moment en mission en Amérique) ni refait personnellement les calculs relatifs au train d'épreuve, il ne nous est pas possible de discuter les résultats ; nous nous contentons de les constater.

Le mot *travail* est employé, dans le procès-verbal, le sens où nous avons employé le mot *fatigue* ci-d (effort par unité de surface).

Paris, 27 juin 1899.

ANNEXES.

Annexe I.

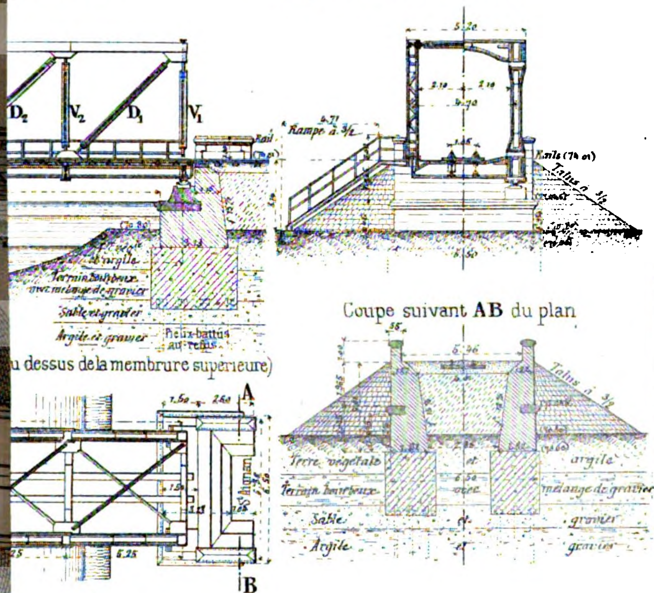
Calculs numériques des efforts.

Ces calculs ont été faits en appliquant la méthode i quée par M. Dupuy pour le calcul du moment fléchis et de l'effort tranchant. Cette méthode n'est que la tra tion en langage algébrique du calcul graphique.

On a construit d'abord le barême ci-après.

Au moyen de ce barême on a calculé le moment fl chissant au droit de chaque montant. On sait que, dans cas de la poutre Pratt, l'effort dans chaque tronçon d membrure est égal au moment fléchissant qui s'exerce a extrémités du montant compris entre les mêmes diagona que ces tronçons de membrure divisé par la hauteur. O en déduit la fatigue en divisant l'effort par la section.

Pour avoir la fatigue dans les montants et diagonaux on a déterminé d'abord, au moyen du barême, l'effo tranchant en avant du train. Cet effort a été diminué de efforts reportés sur les pièces de pont pour avoir les efforts tranchants dans la partie occupée par le train. Les efforts reportés sur les pièces du pont étaient déterminés au moyen du barême, par la méthode générale.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

BARÈME POUR LE CALCUL DES EFFORTS PRODUITS PAR LE TRAIN D'ÉPREUVE.

NUMÉROS d'ordre des charges	CHARGES en kilogramme	DISTANCE DE CHAQUE CHARGE à la suivante	à la première	MOMENT DES n premières charges par rapport au point où se trouve la n^e — PRODUIT de l'effort tranchant par la portée	ACCROISSEMENT des moments en kilogrammètre par mètre lorsqu'on va de la n^e roue à la $(n+1)$ roue
1	2	3	4	5	6
1	6.200	1,36	»	»	6.200
2	6.000	1,36	1,36	8.432	12.200
3	6.400	1,36	2,72	25.024	18.600
4	5.200	4,37	4,08	50.320	23.800
5	5.800	2,60	8,45	154.326	29.600
6	5.600	4,37	11,05	231.286	35.200
7	6.200	1,36	15,42	385.110	41.400
8	6.400	1,36	16,78	441.414	47.800
9	6.500	1,36	18,14	506.422	54.300
10	5.800	4,37	19,50	580.270	60.100
11	5.500	2,60	23,87	842.907	65.600
12	5.500	3,80	26,47	1.013.467	71.100
13	4.000	3,30	30,27	1.283.647	75.100
14	4.000	4,00	33,57	1.531.477	79.100
15	3.900	3,30	37,57	1.847.477	83.000
16	3.900	4,00	40,87	2.121.777	86.900
17	4.600	3,30	44,87	2.469.377	91.500
18	4.600	4,20	48,17	2.771.327	96.100
19	4.000	3,30	52,37	3.174.947	100.100
20	4.000	»	55,67	3.505.277	104.100

MOMENTS FLÉCHISSANTS A EMPLOYER POUR LE CALCUL DE LA FATIGUE DANS CHAQUE TRONÇON DE MEMBRURE.

TRONÇON de membrures	PREMIÈRE roue sur V_6	PREMIÈRE roue sur V_5	PREMIÈRE roue sur V_4	PREMIÈRE roue sur V_3	PREMIÈRE roue sur V_2	PREMIÈRE roue sur V_1
I_1	0	0	0	0	0	0
I_2 et S_1	106.892	146.614	189.602	235.901	285.589	255.890
I_3 et S_2	213.785	293.228	379.203	371.802	488.253	450.785
I_4 et S_3	320.677	439.842	568.805	625.778	629.922	592.835
I_5 et S_4	427.569	586.455	675.481	716.759	718.746	636.762
S_5	534.462	650.144	721.162	755.875	709.447	625.153

EFFORTS TRANCHANTS A EMPLOYER POUR LE CALCUL
DE LA FATIGUE DE CHAQUE MONTANT
OU DIAGONAL INDIQUÉ DANS LA PREMIÈRE COLONNE CI-DESSOUS.

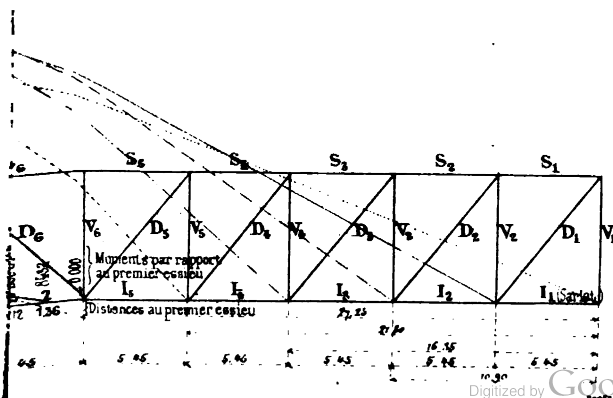
DÉSIGNATION des pièces	PREMIÈRE roue sur V_6	PREMIÈRE roue sur V_5	PREMIÈRE roue sur V_4	PREMIÈRE roue sur V_3	PREMIÈRE roue sur V_2	PREMIÈRE roue sur V_1
V_1D_1	19.613	26.902	34.789	43.285	52.402	46.953
V_2D_2	19.613	26.902	34.789	43.285	37.187	37.597
V_3D_3	19.613	26.902	34.789	28.070	27.831	27.900
V_4D_4	19.613	26.902	19.574	18.714	13.134	11.896
V_5D_5	19.613	11.687	10.218	9.017	2.130	1.687
D_6	4.398	2.331	521	— 6.987	— 8.079	— 6.898

DE CORGNAC

des efforts tranchants et
ts donnés par le train d'epreuve
ifferentes positions.
chaque roue, voir le barême)

ueurs : 0.0025 par mètre

nents . 0mm.05 p tonne mètre



ANNEXE II.

Calcul de la fatigue.

Fatigue calculée en kilogrammes par millimètre carré dans chaque pièce de la moitié de la poutre étudiée. — (Quotient du moment par le produit de la hauteur par la section pour les membrures, de l'effort tranchant par la section pour les montants, de l'effort tranchant par le produit de la section par le cosinus de l'inclinaison pour les diagonaux.)

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	I_2	I_3	I_4	I_5	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
Première roue sur V_6...	0.963	1.510	1.864	2.110	2.292	0.356	0.647	0.887	1.091	1.736	2.017	2.428	2.471	2.450	0.681	1.252	1.421	1.582	1.821
— sur V_5...	1.321	2.072	2.557	2.794	2.788	0.488	0.887	1.218	1.497	2.381	2.766	3.300	3.389	1.472	0.934	1.716	1.949	2.169	1.085
— sur V_4...	1.709	2.679	3.306	3.334	3.093	0.632	1.147	1.575	1.724	3.020	3.577	4.306	2.466	1.276	1.207	2.227	2.520	1.578	0.948
— sur V_3...	2.125	3.335	3.637	3.537	3.242	0.786	1.427	1.732	1.830	3.832	4.451	3.474	2.357	1.127	1.504	2.762	2.034	1.509	0.837
— sur V_2...	2.574	3.450	3.661	3.547	3.043	0.951	1.477	1.744	1.835	4.639	3.824	3.445	2.284	0.266	1.819	2.372	2.016	1.462	0.197
sur V_1...	2.306	3.185	3.445	3.143	2.681	0.852	1.365	1.641	1.626	4.157	3.863	3.453	1.498	0.210	1.630	2.391	2.021	0.959	0.156

ANNEXE III.

Tableau du calcul des fatigues déduites des lectures faites.

Nous n'avons conservé dans ce tableau que les lectures correspondant à la position qui donne les efforts maxima dans chaque pièce.

Les appareils ayant eu une longueur de tige de 0^{m},20, toutes les lectures ont été d'abord multipliées par 5, avant d'être reportées ci-après.

On a d'abord déterminé les efforts d'après la règle suivante donnée par M. Rabut (*Ann. des P. et Ch.*, livraison d'octobre 1896) : « Si A, B, C sont trois lectures faites « avant, pendant et après le séjour de la surcharge sur « le tablier, on prendra pour valeur du travail B — A « ou A — C suivant que B sera plus grand ou plus petit « que A ; de cette façon, toute lecture étant précédée « d'une compression, le jeu du mécanisme sera éliminé. »

Quand la température est bien fixe au cours d'une expérience et qu'il n'y a pas de soleil, cette règle donne d'excellents résultats. Ici nous avons dû opérer dans une saison où le soleil ne faisait jamais trêve ; nous n'avons pu l'éviter dans une première opération qu'en commençant avant le jour. Aussitôt qu'il a commencé à donner, les effets de la dilatation sont venus fausser toutes les opérations. Aussi, à titre de contrôle et pour permettre de juger de la valeur d'une opération, avons-nous toujours inscrit dans le tableau suivant, à côté de la différence déterminée d'après la règle de M. Rabut, la différence qu'il néglige. Si elles sont peu différentes, on peut tenir l'opération pour bonne ; si elles s'écartent notablement l'une de l'autre, le soleil est venu troubler l'opération ou le lecteur a fait une erreur. Si le soleil est réellement coupable, la vérité doit se trouver entre les deux différences ; si le lecteur s'est trompé, il n'y a aucun compte à tenir de l'opération.

Longueur des tiges $= 0^m,20$

+ extension
— compression

NUMÉRO de l'appareil	SECTION de la pièce éprouvée et position des appareils	POSITION de la première roue du train	POSITION DE L'AIGUILLE avant	pendant	après	FATIGUE DE LA PIÈCE d'après la règle de M. Rabut	d'après la comparaison avec l'autre lecture	DIFFÉRENCE des deux colonnes précédentes (valeur absolue)
A	B	C	D	E	F	G	H	G-H
			Vertical V_1					
1	Extérieur		5,01	4,33	5,08	— 3,40	— 3,75	0,35
2			4,69	4,49	4,45	— 1,00	+ 0,20	1,20
3		V_2	4,86	4,80	4,78	— 0,30	+ 0,10	0,40
4			4,50	4,02	4,40	— 2,40	— 1,90	0,50
1	N S		4,78	4,50	4,82	— 1,40	— 1,60	0,20
2			3,20	2,83	2,80	— 1,85	+ 0,15	2,00
3		V_2	10,63	10,62	10,96	— 0,05	— 1,70	1,65
4	Intérieur		6,28	6,22	6,67	— 0,30	— 2,25	1,95
			Diagonal D_1					
1			5,00	5,39	5,00	+ 1,95	+ 1,95	0,00
2	Extérieur	V_2	5,13	5,95	5,24	+ 3,55	+ 4,10	0,55
3			5,07	6,29	5,00	+ 6,45	+ 6,10	0,35
4	N S		4,55	5,29	4,40	+ 4,45	+ 3,70	0,75
1			11,28	12,70	11,89	+ 4,05	+ 7,10	3,05
2		V_2	11,56	12,30	11,50	+ 4,00	+ 3,70	0,30
3	Intérieur		4,47	4,90	4,70	+ 1,00	+ 2,15	1,15
4			3,80	4,32	3,69	+ 3,15	+ 2,60	0,55
			Vertical V_2					
1			7,91	6,23	7,90	— 8,40	— 8,35	0,05
2			»	»	»	»	»	»
3	Extérieur	V_2	5,85	6,12	5,90	+ 1,10	+ 1,35	0,25
4	N S		8,79	8,29	8,78	— 2,50	— 2,45	0,05
1			8,20	8,65	8,37	+ 1,40	+ 2,25	0,85
2			»	»	»	»	»	»
3	Intérieur	V_3	9,35	8,13	9,31	— 6,10	— 5,90	0,20
4			9,35	8,90	9,44	— 2,25	— 2,70	0,45
			Diagonal D_2					
1			4,04	4,52	4,06	+ 2,30	+ 2,40	0,10
2	Extérieur	V_3	5,20	5,90	5,18	+ 3,60	+ 3,50	0,15
3			8,26	9,49	8,20	+ 6,45	+ 6,15	0,30
4	N S		5,56	6,25	5,56	+ 3,45	+ 3,45	0,00
1			4,48	5,40	4,43	+ 4,85	+ 4,60	0,25
2			4,17	4,49	4,06	+ 2,05	+ 1,50	0,55
3	Intérieur	V_3	1,18	1,25	1,19	+ 0,30	+ 0,35	0,05
4			1,78	2,12	1,45	+ 3,35	+ 1,70	1,65

NUMÉRO de l'appareil		SECTION de la pièce éprouvée et position des appareils	POSITION de la première roue du train	POSITION DE L'AIGUILLE avant	pendant	après	FATIGUE DE LA PIÈCE d'après la règle de M. Rabut	d'après la comparaison avec l'autre lecture	DIFFÉRENCE des deux colonnes précédentes (valeur absolue)
A		B	C	D	E	F	G	H	G-H
				Vertical V_3					
Haut	1	Extérieur 135×10, 120×80×10, N 1 2 3 4 S, 350×10, Intérieur	V3	4,98	3,84	4,96	— 5,70	— 5,60	0,[illegible]
	2			»	»	»	»	»	»
	3			5,90	5,18	4,99	+ 0,95	+ 0,90	0,05
	4			»	»	»	»	»	»
Bas	1			5,44	5,80	5,53	+ 1,35	+ 1,80	0,45
	2			»	»	»	»	»	»
	3		V_3	5,43	1,28	2,52	— 5,75	— 6,20	0,[illegible]
	4			»	»	»	»	»	»
				Diagonal D_3					
Haut	1	Extérieur 110×10, 75×75×10, 1 2 3 4, 300×10, Intérieur	V_4	5,18	5,70	5,17	+ 2,65	+ 2,60	0,[illegible]
	2			5,05	5,85	5,03	+ 4,10	+ 4,00	0,[illegible]
	3			5,00	6,28	5,05	+ 6,15	+ 6,40	0,[illegible]
	4			5,08	5,87	5,08	+ 3,95	+ 3,95	0,[illegible]
Bas	1		V_4	3,43	4,30	3,42	+ 4,40	+ 4,35	0,[illegible]
	2			5,01	5,91	5,07	+ 4,20	+ 4,50	0,30
	3			4,82	5,29	4,99	+ 1,50	+ 2,35	0,85
	4			2,82	3,38	2,68	+ 3,50	+ 2,80	0,70
				Vertical V_4					
Haut	1	Extérieur 110×10, 70×70×11½, N 1 2 3 4 S, 250×10, Intérieur	V_5	5,00	4,21	5,00	— 3,95	— 3,95	0,0[illegible]
	2			4,80	4,63	4,80	— 0,85	— 0,85	0,0[illegible]
	3			5,00	5,08	5,00	+ 0,40	+ 0,40	0,0[illegible]
	4			5,00	4,51	4,97	— 2,45	— 2,30	0,15
Bas	1		V_5	5,25	5,50	5,59	+ 0,45	— 1,25	1,70
	2			5,01	4,79	5,12	— 1,10	— 1,65	0,55
	3			4,20	3,10	4,19	— 5,50	— 5,45	0,05
	4			3,92	3,49	3,77	— 2,15	— 1,40	0,75
				Diagonal D_4					
Haut	1	Extérieur 110×10, 70×70×11½, N 1 2 3 4 S, 250×10, Intérieur	V_5	5,05	5,47	5,04	+ 2,15	+ 2,10	0,05
	2			5,00	5,58	5,00	+ 2,90	+ 2,90	0,00
	3			5,05	5,89	5,02	+ 4,35	+ 4,20	0,15
	4			5,00	5,68	5,00	+ 3,40	+ 3,40	0,00
Bas	1		V_5	4,08	5,49	4,57	+ 4,60	+ 7,05	2,45
	2			3,49	4,17	3,41	+ 3,80	+ 3,40	0,40
	3			6,59	6,95	6,58	+ 1,85	+ 1,80	0,05
	4			5,00	5,60	5,15	+ 2,25	+ 3,00	0,75
				Vertical V_5					
Haut	1	Extérieur 110×10, 95×60×11½, 1 2 3 4, 250×10, Intérieur	V_6	4,92	4,05	4,68	— 3,35	— 3,15	0,[illegible]
	2			5,58	5,30	5,54	— 1,40	— 1,20	0,[illegible]
	3			4,11	4,09	4,10	— 0,10	— 0,05	0,05
	4			5,40	5,02	5,35	— 1,90	— 1,65	0,25
Bas	1		V_6	0,02	0,01	0,08	— 0,05	— 0,35	0,30
	2			3,40	3,15	3,21	— 1,25	— 0,30	0,[illegible]
	3			3,85	3,00	3,70	— 4,25	— 3,50	0,[illegible]
	4			»	5,00	5,20	— 1,00	— 1,00	0,[illegible]

NUMÉRO de l'appareil	SECTION de la pièce éprouvée et position des appareils	POSITION de la première roue du train	POSITION DE L'AIGUILLE avant	pendant	après	FATIGUE DE LA PIÈCE d'après la règle de M. Rabut	d'après la comparaison avec l'autre lecture	DIFFÉRENCE des deux colonnes précédentes (valeur absolue)
A	B	C	D	E	F	G	H	G-H
			Diagonal D_5					
1	Extérieur; 110×10; 70×70×10; N; S; 220×10; Intérieur; 1; 2; 3; 4	V_6	5,05	5,30	5,06	+ 1,25	+ 1,20	0,05
2			4,98	5,18	4,97	+ 1,05	+ 1,00	0,05
3			5,82	6,28	5,81	+ 2,35	+ 2,30	0,05
3			4.79	5,19	4,76	+ 2,15	+ 2,00	0,15
1		V_6	2,98	3,40	3,05	+ 1,75	+ 2,10	0,35
2			5,00	5,30	4,98	+ 1,60	+ 1,50	0,10
3			2,01	2,20	1,75	+ 2,25	+ 0,95	1,30
4			1.00	1,30	1,10	+ 1,00	+ 1,50	0,50
			Membrure supérieure					
1	S_1 500×10; S_2 500×20; 100×100×10; 700×10; 70×70×9; Intérieur; Extérieur; 1; 2; 3; 4	V_2	7,38	7,59	7,68	+ 0,45	— 1,05	1,50
2		V_2	5,12	4,18	5,20	— 3,20	— 3,60	0,50
3		V_2	4,10	3,60	3,85	— 2,50	— 1,25	1,25
4		V_2	8,20	7,95	8,50	— 1,25	— 2,75	1,50
1		V_2	2,98	3,03	3,03	— 0,00	+ 0,25	0,25
2		V_2	4,48	3,39	4,19	— 5,45	— 4,00	1,45
3		V_2	5,15	4,75	5,30	— 2,00	— 2,75	0,25
4		V_2	7,85	7,51	8,20	— 1,70	— 3,45	1,75
			Membrure inférieure					
I_1 1	80×80×8; 700×10; 100×100×10; Extérieur; 1; I_1 sans semelle; I_2 500×10; I_3 500×20	V_2	6,02	5,78	6,12	— 1,20	— 1,70	0,50
I_2 1		V_1	4,04	4,13	3,93	+ 1,00	+ 0,45	0,55
I_3 1		V_1	4,13	4,38	3,98	+ 2,00	+ 1,25	0,75

ANNEXE IV.

Procès-verbal des épreuves réglementaires du tablier métallique du pont sur le Beuvron.

Le 8 mai 1899, les soussignés :

MM. Legay, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé du contrôle de la ligne de Saint-Aignan à Blois ;

Olivier, Ingénieur chargé des travaux de la ligne de Saint-Aignan à Blois ;

Lanna, Inspecteur du Matériel fixe à la Compagnie d'Orléans ;

Ont procédé aux épreuves réglementaires du pont sur le Beuvron.

Description sommaire de l'ouvrage. — Le tablier métallique, dont la portée est de 42^{m},00 d'axe en axe des appuis, comporte deux poutres principales à triangulation simple, extérieures à la voie et contreventées à la partie supérieure. La voie est posée sur traverses à la partie inférieure du tablier. Le platelage est métallique et sert de contreventement inférieur.

L'originalité de l'ouvrage consiste dans l'application générale qui y est faite du système des joints flexibles préconisé par M. l'Ingénieur Mesnager.

M. Mesnager a remarqué que, dans les constructions métalliques, l'angle dont une pièce peut tourner par rapport à celles auxquelles elle est reliée ne dépasse pas 0,001 à 0,002 en unité trigonométrique.

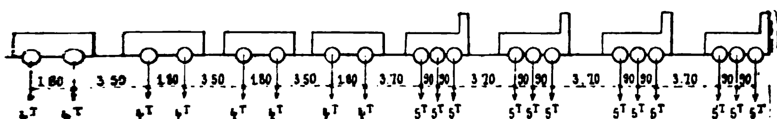
Se basant sur cette remarque, M. Mesnager a admis une disposition consistant à joindre deux pièces de la construction métallique par une ou deux lames métalliques, à section rectangulaire, suffisamment minces pour n'offrir qu'une résistance insignifiante à la flexion transversale dans les limites de variation d'angle indiquées

ci-dessus, et cependant assez épaisses, relativement à leur longueur, pour résister à la compression sans flamber.

Sauf le platelage, qui est en fer, toutes les parties de la construction sont en acier.

Composition du train d'épreuve. — Conformément à l'article 13 du règlement du 29 août 1891, le train d'épreuve a été formé avec le plus lourd matériel propre à la ligne de Saint-Aignan à Blois.

Le diagramme ci-dessous indique la composition du train et le poids des essieux.



Description des épreuves. — Les épreuves ont consisté dans l'observation des flèches statiques et dynamiques prises par les deux poutres principales sous la charge du train d'épreuve et dans la mesure du travail développé en divers points des poutres principales, des pièces de pont et des longerons par la même surcharge.

En outre la flexion de la lame flexible inférieure du montant extrême V_1, côté Saint-Aignan (poutre aval) et du deuxième montant V_2 (poutre amont) a été constatée au moyen de lunettes repérées à une mire placée sur la culée de l'extrémité opposée (côté Blois).

A. Mesure des flèches. — *Épreuves statiques.* — Ces épreuves ont consisté dans l'enregistrement de la flèche au milieu de chaque poutre principale, lorsque le train était placé dans la position correspondant au moment fléchissant maximum maximorum.

A cet effet, les enregistreurs Rabut ont été munis d'un cylindre à marche lente déroulant le papier avec une vitesse de 2 centimètres par minute.

L'examen des diagrammes correspondant à ces expériences a permis de constater l'invariabilité de la flèche pendant toute la durée du stationnement sur l'ouvrage.

En outre, les flèches sont revenues à zéro après la sortie du train.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

Flèche de la poutre principale	amont..	12mm,4
	aval....	12 2

La valeur théorique de la flèche correspondant à la position du moment fléchissant maximum est de 10mm,8.

Épreuves dynamiques. — Les épreuves dynamiques ont été faites à la vitesse de 21 kilomètres à l'heure, puis à la vitesse de 40 kilomètres.

Vitesse de 21 *kilomètres.* — Les cylindres employés sont des cylindres à marche rapide développant 1 centimètre par seconde. Les diagrammes montrent qu'avec cette vitesse l'amplitude maxima des vibrations des poutres principales a été de 0mm,8.

Les flèches observées ont été les suivantes :

Poutre amont.........	12mm,8
Poutre aval...........	12 2

Vitesse de 40 *kilomètres.* — Les cylindres employés déroulaient le papier à raison de 5cm,8 par seconde pour la poutre principale amont et de 1 centimètre par seconde pour la poutre principale aval.

Les diagrammes obtenus montrent qu'à la vitesse de 40 kilomètres par heure l'amplitude maxima des vibrations des poutres principales a été de 1mm,2.

Les flèches ont été les suivantes :

Poutre amont.........	13mm,0
Poutre aval...........	12 4

B. Mesure du travail. — *Poutres principales.* — Le travail des poutres principales a été mesuré à l'aide d'appareils Manet-Rabut.

Cinq appareils ont été posés au milieu de la portée de la poutre principale aval, deux sur la membrure supérieure, trois sur la membrure inférieure.

Quatre autres appareils ont été posés au milieu du quatrième panneau (à partir de la culée Saint-Aignan) de la poutre principale aval.

En outre, huit appareils ont été placés sur chacune des diagonales et sur chacun des montants des quatre panneaux de la poutre principale aval (côté Saint-Aignan).

Pour évaluer le travail du métal, on a admis que tout allongement ou raccourcissement de 1/20 de millimètre révélé par les appareils correspondait à un travail de 1 kilogramme par millimètre carré, le coefficient d'élasticité de l'acier étant, par conséquent, supposé égal à $E = 20 \times 10^9$.

Dans ces conditions, avec des tiges de $0^m,20$ de longueur, chacune des petites divisions de l'appareil représente un travail de $0^{kg},50$.

Pièces de pont. — La pièce de pont soumise aux constatations des appareils Manet-Rabut est la pièce de pont centrale.

Trois appareils ont été posés sur les semelles inférieures de la pièce : deux au milieu de la portée, un à l'extrémité aval; deux sur les lames flexibles de suspension.

Longerons. — Le longeron éprouvé est le longeron aval du quatrième panneau (côté Saint-Aignan).

Quatre appareils ont été posés sur les semelles inférieures : deux au milieu de la portée et deux à l'extrémité côté Blois.

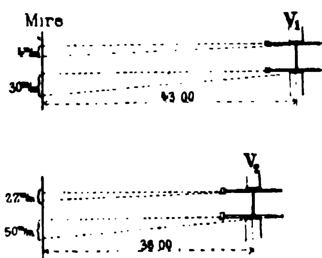
Résultats des expériences. — Le tableau ci-dessous indique, en regard du travail théorique, le travail observé dans les diverses pièces examinées.

Désignation des pièces et position des appareils Manet-Rabut	Numéros des appareils	Travail observé — Position de l'aiguille — avant	pendant	après	Travail R	Travail théorique T	Observations
1° Poutres principales.							
a) *Membrures.*							
au milieu de la portée	1	48,5	50	48,3	+ 0,85		Les chiff… contre mont… les membru… rieures, qui … lagées par les … rons et le pla… en tôle, trav… moins que les … brures supérie…
	2	51,5	54,5	51,5	+ 1,50	+ 2,53	
	3	46	49	46	+ 1,50		
	4	49	42,5	48	— 3,25	— 2,48	
	5	50	44	50	— 2,00		
au milieu du 4ᵉ panneau	1	40	41,5	40	+ 0,75		
	3	51,5	53,5	51,5	+ 1,00	+ 2,11	
	2	48	49	47	+ 1,00		
	4	39,5	42	39,5	+ 1,25		
b) *Treillis.* (Voir le dessin annexé au procès-verbal.)							
	1	40	38,75	40	— 0,63		
	2	45	42	45,5	— 1,50	— 1,25	Les résulta… appareils 5, 6, … 8 sont très d… vu la faible… travail cons… l'intérieur d…
	3	»	»	»	»		
	4	40	37,5	40	— 1,25		
	5	39	39,6	39,25	+ 0,17		
	6	40	40	40	0	— 0,91	
	9	33	33,33	33,25	+ 0,04		
	7	50	49,5	50	— 0,25	— 0,66	
	8	40	39,75	39,75	— 0,12		
	D₁ 1	47	52	47,75	+ 2,12		
	2	42	45,5	42	+ 1,75		
	3	49,5	53,5	49	+ 2,25		
	4	46	51	46,5	+ 2,25	+ 2,20	
	5	50	55	50	+ 2,50		
	6	50,5	56	51	+ 2,00		
	7	39	44	39,25	+ 2,37		
	8	49	54	49,5	+ 2,25		

…NATION DES PIÈCES des appareils Manet-Rabut	TRAVAIL OBSERVÉ					TRAVAIL théorique T	OBSERVATIONS
	Numéros des appareils	Position de l'aiguille			Travail R		
		avant	pendant	après			
… — Montant	V_2 1	46	43,5	46	— 1,25	+ 2,24	
	2	54,5	51.75	53,75	— 1,38		
	3	50,5	48,5	51,5	— 1,04		
	4	48	46,25	48,75	— 0,88		
	5	50,5	47	50,25	— 1,75		
	6	47	44	48	— 1,50		
	7	39,5	36	39	— 1,75		
	8	48	44,5	48	— 1,75		
Diagonale	D_2 1	49,5	52,5	49,5	+ 1,50	— 2,24	
	2	31,5	35,5	31,5	+ 2.00		
	3	58	62	58	+ 2,00		
	4	40,5	48	40,5	+ 3,75		
	5	49,5	54	50	+ 2,00		
	6	50	56	50	+ 3,00		
	7	50	55	50	+ 2,50		
	8	44	51,5	44,5	+ 3,50		
— Montant	V_3 1	58,5	55	58,5	— 1,25	— 2,03	
	2	20	16,5	18	— 1,75		
	3	30	28,5	30,5	— 0,75		
	4	40	37	40	— 1,50		
	5	62	59,5	62,5	— 1,25		
	6	48	44	48,5	— 2,00		
	7	49,5	47	49,5	— 1,25		
	8	50	46,5	49,5	— 1,75		
Diagonale	D_3 1	49	52,5	49,5	+ 1,50	+ 2,03	
	2	65,5	70.5	65,5	+ 2,50		
	3	26	29	25,5	+ 1,75		
	4	57	62	57,5	+ 2,25		
	5	48,5	50,5	47,5	+ 1,50		
	6	33	38	33	+ 2,50		
	7	40	41,5	39,5	+ 1.00		
	8	54	59	54,5	+ 2,25		
- Montant	V_4 1	35,5	33,5	35	— 1,00	— 1,86	
	2	60	58	59,5	— 1,00		
	3	48	46	47	— 1,00		
	4	62,5	60,5	62	— 1,00		
	5	50	49	50	— 0,50		
	6	44	40,5	43	— 1,75		
	7	51,5	49,5	52	— 1,00		
	8	49	47	49	— 1,00		
Diagonale	D_4 1	54	57	54	+ 1,50	+ 1,53	
	2	60	63,5	61	+ 1,25		
	3	27	29,5	27	+ 1,25		
	4	59	62,5	59	+ 1,75		
	5	51,5	54,5	52	+ 1,25		
	6	47	50	47	+ 1,50		
	7	50	52	50	+ 1,00		
	8	50	53,5	50	+ 1,75		

Désignation des pièces et position des appareils Manet-Rabut	Numéros des appareils	Travail observé — Position de l'aiguille — avant	pendant	après	Travail R	Travail théorique T	Observat…
Montant V_5 = zéro partout.							
2° Pièce de pont.							
	5	50	53,5	50	+ 1,75	+ 2,65	La tôle … lage so… de pont.
	6	50	53,5	50	+ 1,75		
	7	49,75	50	50	0		
	8	63	65	63	+ 1,00	+ 2,79	
	9	47	49	47	+ 1,00		
3° Longeron.							
	1	45	45,5	44,5	+ 0,50	»	
	2	50	51	50	+ 0,50		
	3	46	52	43	+ 3,50	+ 2,95	
	4	40	43	39	+ 2,00		

C. Flexion des tôles de joint. — Les tôles de joint examinées sont celles du montant extrême V_1 de la poutre aval et du montant V_2 de la poutre amont.



Les lunettes posées sur le champ de ces tôles ont montré que la déviation de la ligne de visée a été de même sens pour toutes les lunettes et a atteint les chiffres

suivants :

V_1	haut.......	4	millimètres sur	$43^m,00$
	bas........	30	—	—
V_2	haut.......	22	millimètres sur	$38^m,00$
	bas........	50	—	—

D. Visite du tablier. — Après les épreuves, le tablier a été visité dans tous ses détails. Les diverses pièces et les rivures ont été trouvées en bon état.

. . . .

Conclusions. — Il résulte de ces expériences :

1° Que le travail observé est toujours de même signe que le travail calculé;

2° Que les coefficients de travail observés sont tout à fait comparables à ceux du travail calculé.

Ces résultats n'ont jamais été atteints dans les expériences antérieures faites sur des ponts rivés du type ordinaire; il semble donc que le système de M. Mesnager fait disparaître la presque totalité des efforts secondaires.

CHRONIQUE.

N° 27

RESTAURATION DES FONDATIONS

DE LA PILE GAUCHE DU PONT D'YONNE A SENS

Par M. DONIOL, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le pont en maçonnerie au moyen duquel la route nationale n° 60 franchit le bras principal de l'Yonne, à Sens, et qui porte le nom de pont d'Yonne, a été reconstruit vers le milieu du siècle dernier. Il se compose de trois arches en anse de panier dont les largeurs sont, pour l'arche centrale, 18 mètres, et pour les arches de rive, 16 mètres. Les piles, munies d'avant-becs et d'arrière-becs de forme ogivale, et de $3^m,80$ de largeur, sont fondées sur pilotis avec platelage général.

La violence du courant dans cette partie courbe de la rivière avait déterminé des affouillements considérables à la base de la pile gauche du pont, ainsi qu'il a été facile de le reconnaître par un examen au scaphandre. L'excavation avait une hauteur moyenne de $1^m,50$ et s'étendait à plus de 1 mètre en arrière du parement de la pile. Sa longueur était à peu près celle de la pile, soit environ 16 mètres. Mais les maçonneries au-dessus du platelage n'avaient subi aucun tassement, et les parements de l'ouvrage ne présentaient ni fissure ni déformation.

Dans l'impossibilité où l'on se trouvait de pénétrer sous

la pile, on n'avait pas pu constater si les pieux étaient ou non noyés dans une maçonnerie quelconque à leur partie supérieure. On ne pouvait, au milieu des obstacles accumulés en cet endroit, travailler commodément sous la pile et combler les vides.

Nous nous proposons de rendre compte brièvement des travaux entrepris pour triompher de ces difficultés.

D'après le projet soumis à l'approbation de l'Administration supérieure, on avait l'intention d'employer un procédé qui avait donné d'assez bons résultats pour la reprise en sous-œuvre des murs de quai de l'église Saint-Maurice à Sens, en 1886, et pour la restauration des fondations du pont de Joigny, en 1888 : ce procédé consistait à faire descendre avec précaution dans l'excavation préalablement nettoyée, un seau de mortier de ciment de Vassy que le scaphandre renversait aussitôt à l'endroit où il s'agissait de maçonner; puis il noyait des moellons dans ce mortier, y déposait à nouveau du mortier, puis des moellons, et ainsi de suite. Quand le vide restant sous la pile devenait insuffisant pour renverser le seau de mortier, on achevait le remplissage de l'excavation au moyen de sacs de mortier de ciment. Le mortier employé dans les sacs comme dans la maçonnerie contenait parties égales de ciment et de sable. La maçonnerie était formée d'environ 1/3 de moellons et 2/3 de mortier.

On trouvera la description détaillée de ces travaux dans un article inséré aux *Annales* de 1890 (1er semestre, p. 472 et suiv.).

D'ailleurs, au pont de Sens, on suivit d'autres errements dès le début de l'exécution.

Il s'agissait d'obtenir un contact complet entre la maçonnerie ancienne et la maçonnerie nouvelle. Dans ce but, on injectait dans leur intervalle du ciment liquide coulé par des tuyaux en poterie fixés au parement des maçonneries et pénétrant dans leur intérieur. Le ciment

liquide ainsi introduit détermine la cohésion de tous les élements de la masse là où le mortier n'a pas pénétré ou n'a pas fait prise.

On conçoit aisément que cette cohésion dans toute la masse permette de compter sur les résultats suivants, qui n'étaient pas obtenus au pont de Joigny :

1° Pénétration du ciment dans tous les vides des bois de fondation ;

2° Injection du sable du sous-sol qui est ainsi rendu solidaire de tout le massif ;

3° Suppression des vides par lesquels l'eau viendrait raviner les fondations en attaquant les mortiers.

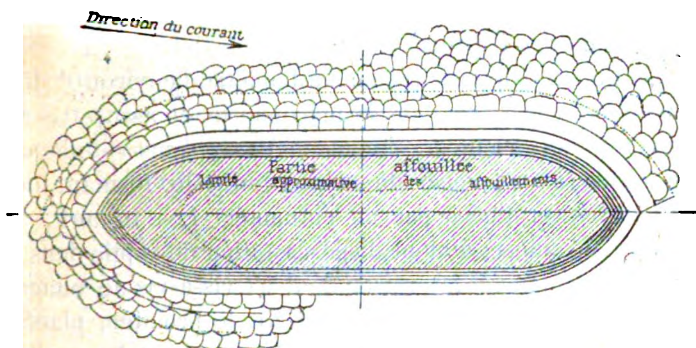
Voici d'ailleurs l'exposé de la suite des opérations.

On commença par enlever les enrochements de déf sur 5 à 6 mètres de longueur à partir de l'arrière-bec de la pile et par démolir les anciennes maçonneries datant de la reconstruction, qui étaient simplement plaquées contre la pile, ne portaient rien et pouvaient gêner les opérations ultérieures. L'enlèvement des débris et des petits enroch ments s'opérait au scaphandre au moyen de seaux ; on servait d'une chèvre pour déplacer les gros enrochements Puis le terrain de fondation, formé par un banc de crai fut mis à nu et nettoyé à l'emplacement de l'excavati à combler par de la maçonnerie de moellons à bain mortier de ciment, maçonnerie qui fut d'ailleurs effectu dans les mêmes conditions qu'au pont de Joigny par de scaphandriers travaillant à tour de rôle ; le mortier y a également la même composition, et on l'employait avec les mêmes précautions que dans l'exemple que nous ve de citer. La laitance, qui se produisait en abondance, é écartée à l'aide d'une pompe aspirante manœuvrée quatre hommes. Les constatations faites ont permis de rendre compte que la prise du mortier était complète.

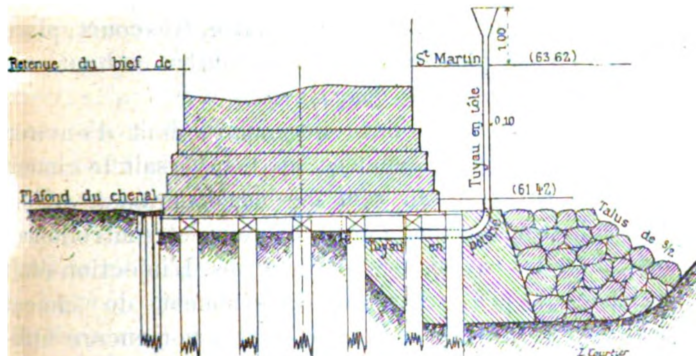
On maçonnait de cette façon une première as d'environ 0^{m},80 de hauteur sur 2^{m},00 de longueur ;

on venait opérer de façon identique à côté de la partie maçonnée, et ainsi de suite; mais le ciment de Portland, malgré son prix, fut bientôt substitué au ciment de Vassy dont la rapidité de prise était gênante. La maçonnerie

Plan.



Coupe transversale moyenne.



ainsi faite était maintenue par une ligne extérieure de pieux préexistante, rendue solidaire de la première ligne longitudinale de pieux de la pile au moyen de tirants en fer et d'étriers; l'intervalle entre les pieux qu'il était peu commode de garnir de palplanches par suite de l'encombrement et de l'exiguité du chantier, avait été laissé

libre; mais le tout devait être entouré d'enrochements. Sur la première assise de maçonnerie, on en fit une autre pour arriver à peu près jusqu'au niveau du platelage, c'est-à-dire jusqu'au moment où, comme au pont de Joigny, le renversement du seau devenait impossible.

A ce moment, on commença la pose des tuyaux en poterie pour le coulage du ciment qui constitue le côté original de ces travaux.

Les tuyaux employés avaient un diamètre d'environ 0m,15; ils étaient encastrés dans la maçonnerie et assujettis au moyen d'une couche de ciment de Vassy, puis réunis par un coude à une série de tuyaux en tôle formant des cheminées terminées par un entonnoir. Les tuyaux, au nombre de quinze, étaient disposés autour de la pile dans la partie endommagée, à raison de deux vis-à-vis de chacun des pieux, espacés d'environ 1m,25; le premier, placé à l'amont du pieu et occupant les 2/3 de la profondeur, allait injecter le fond de la fouille et remplissait les parties que les hommes n'avaient pu atteindre; l'autre, très court, placé à l'aval du même pieu, lançait le ciment de bas en haut sous la pile et reliait les deux maçonneries.

La hauteur des cheminées de coulage était d'environ 3m,20. C'est par ces cheminées que l'on versait le ciment liquide qui pénétrait au sein des maçonneries à relier, grâce à la pression due à cette hauteur, et s'introduisait dans toutes les cavités des maçonneries. L'injection était continuée jusqu'à refus ou échappement de ciment liquide par les tuyaux en poterie voisins non encore utilisés, ce qui indiquait dans les deux cas, que le remplissage absolu de la partie correspondante de l'excavation était complètement atteint. On passait alors au tuyau suivant, et ainsi de suite.

Le ciment liquide employé contenait 1/10 de sable fin tamisé à 2 millimètres et 9/10 de ciment de Portland.

Une fois le coulage terminé, on immergea des enro-

chements autour de la pile pour la défendre contre les corrosions, et l'on coula au-dessus de ces enrochements un béton de ciment de Portland composé de 1 partie de ciment pour 2 de graviers. Quand la prise fut complète, il ne resta plus qu'à casser les coudes des tuyaux en poterie pour supprimer toute saillie.

En prenant possession de l'arrondissement de Sens, nous n'avons fait que terminer l'exécution de ces travaux, commencée par M. Breuillé, ingénieur à Auxerre, et chargé de l'intérim du service de M. Dubois, aujourd'hui ingénieur de la voie aux chemins de fer d'Orléans.

Le chantier était dirigé par M. Lambert, commis principal à Sens.

La dépense s'est élevée à 8.000 francs; on a pu ainsi réaliser une économie de 7.000 francs sur le montant des prévisions.

Ces travaux sont trop récents pour qu'il soit possible d'en apprécier dès maintenant l'efficacité. Mais le procédé lui-même avait déjà été employé avec succès au pertuis de Regny sur la Cure (Voir *Annales* de 1898, 1er trimestre, p. 290 et suiv.). Après la crue de l'hiver dernier, nous avons fait descendre un scaphandre, qui a fait le tour de la pile sans constater la moindre dégradation.

Il est intéressant de relever quelques chiffres susceptibles d'être utilisés dans l'avenir pour l'établissement de projets similaires.

Le projet de restauration de la pile affouillée du pont de Sens avait été approuvé à la date du 16 août 1898, et les travaux furent commencés dès le 18 août. Les maçonneries furent faites du 31 août au 11 octobre, et le coulage du ciment du 11 au 13. Les travaux étaient terminés le 18 octobre.

Le mètre cube de moellons bruts exigeait vingt-deux sacs de ciment de Portland pour les maçonneries. En admettant qu'il soit entré dans 1 mètre cube de maçonnerie $0^{m3},800$

de moellons bruts, on voit que la quantité de ciment employé pour le même volume était de

$$22 \times 0{,}800 \times 50 \text{ kg.} = 880 \text{ kilogrammes.}$$

représentant un volume de $0^{m3},616$. Le sable de rivière était mélangé en égal volume, soit $0^{m3},616$.

La confection de ce mètre cube de maçonnerie exigeait $5^{h} \times 0{,}80 = 4$ heures. Le personnel était composé de : un scaphandrier et de sept manœuvres, dont trois actionnaient la pompe à air et quatre étaient occupés à la fabrication du mortier.

On peut établir de la façon suivante le prix de revient du mètre cube de maçonnerie effectué dans les conditions qui viennent d'être décrites (les prix des matériaux rendus à pied d'œuvre comprenant les frais d'octroi) :

$0^{m3},800$ de moellons bruts à $8^{f},00$..........	$6^{f},40$
880 kilogrammes de ciment Portland à $50^{f},00$ les 1.000 kilogrammes..................	44 00
$0^{m3},616$ de sable de rivière à $3^{f},00$ le mètre cube..................................	1 85
4 heures de scaphandrier à $1^{f},50$...........	6 08
7 manœuvres travaillant pendant 4 heures à $0^{f},40$ l'une...........................	11 20
Total...........	$69^{f},45$

soit environ 70 francs.

Il est important de remarquer que, sous la pile, on a obtenu de la maçonnerie de prix peu élevé par l'injection de ciment venant relier les moellons incomplètement noyés dans le mortier.

Sens, le 2 juin 1899.

N° 28

RAPPORT ADMINISTRATIF

DE LA

DIRECTION DES VOIES DE COMMUNICATION DU WURTEMBERG

POUR LES EXERCICES 1895-1896 ET 1896-1897.

Compte rendu par M. G. HUMBERT, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

— —

Ce rapport, présenté par M. le Directeur Euting, en janvier 1899, s'occupe spécialement des constructions de routes. Il est divisé en trois parties : la première renferme des généralités sur le personnel ; la deuxième, divisée elle-même en cinq chapitres, est consacrée à la construction des routes et traite successivement des routes d'État, des routes communales, des dépenses et recettes correspondantes, des tramways avec chevaux ou locomotives et des installations d'éclairage électrique et de transport de la force à distance. Elle donne, dans de nombreux tableaux, des détails sur la longueur des routes, les matériaux employés pour leur entretien, les constructions neuves, les rectifications, ainsi que les dépenses correspondantes.

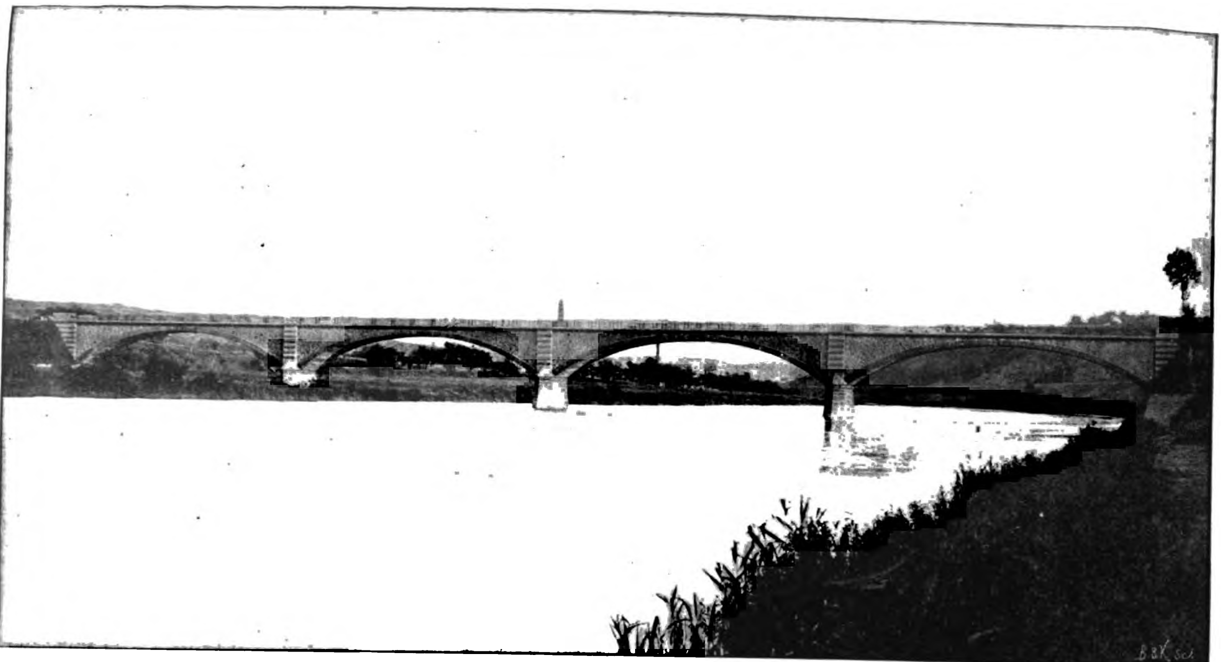
Enfin la troisième partie, la plus intéressante pour les lecteurs français, est consacrée au compte rendu des travaux de construction d'un pont-route sur le Neckar, entre Kirchheim et Gemmrigheim. Cet ouvrage, dont une reproduction accompagne le présent article, se compose de quatre arches en béton de 38 mètres d'ouver-

ture ; les voûtes sont en anse de panier avec 5^{m},50 de hauteur de flèche. Leur épaisseur est de 0^{m},90 aux naissances et de 0^{m},80 à la clef ; suivant un système fréquemment employé dans le Wurtemberg, elles sont articulées à la clef et aux naissances, et les articulations sont formées par des pierres de taille, séparées par des plaques de plomb. Les calculs de résistance des voûtes ont été établis en admettant une surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré et un poids spécifique du béton égal à 2,4. Ils ont donné, pour une seule voûte entièrement chargée, des pressions maxima de 20 à 22 atmosphères. Les bandeaux de tête sont en pierres de taille, et les tympans en maçonnerie d'*opus incertum*. L'intérieur de l'ouvrage est élégi dans le sens longitudinal, au moyen de trois étages de voûtelettes. Le béton des voûtes se compose de 1 partie de ciment, 2 1/2 de sable et 5 de gravier.

La largeur de l'ouvrage, entre garde-corps métalliques, est de 5^{m},50, comprenant une voie charretière de 4 mètres et deux trottoirs de 0^{m},75 de largeur.

Les travaux ont été exécutés de 1895 à 1897, et la dépense totale s'est élevée à 186.323 marks (soit 233.000 francs).

2 juillet 1899.



PONT EN BÉTON SUR LE NECKAR ENTRE KIRCHHEIM ET GEMMRIGHEIM.

BIBLIOGRAPHIE.

N° 29

Cours de navigation intérieure.
Ier VOLUME : Rivières à courant libre.

Par M. DE MAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées. — Compte rendu par M. HOLTZ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Depuis une quinzaine d'années, l'ouvrage que M. l'Inspecteur général Guillemain a fait paraître dans l'*Encyclopédie des Travaux publics* est un guide précieux pour tous ceux qui s'occupent de navigation intérieure. Accueilli avec une faveur marquée tant en France qu'à l'Étranger, il a pris place dans toutes les bibliothèques, et l'édition a été rapidement épuisée.

Il devenait nécessaire de combler cette lacune. Nul n'était mieux qualifié pour remplir cette tâche que M. l'Inspecteur général de Mas, qui, à quelques années de distance, a remplacé M. Guillemain dans sa chaire à l'École des Ponts et Chaussées et qui, par sa carrière d'ingénieur, passée presque tout entière dans les services de navigation, par ses travaux personnels, enfin par la part active qu'il a prise aux Congrès de Navigation, était familiarisé avec toutes les questions qui se rattachent à cette partie de l'art de l'Ingénieur.

L'ouvrage qu'il publie à son tour dans l'*Encyclopédie des Travaux publics* fait suite à celui de M. Guillemain, qu'il est destiné à remplacer. Dans son avant-propos, l'auteur le signale modestement comme une seconde édition. Sans doute, il a fait de larges emprunts à son éminent prédécesseur. Mais, en même temps qu'il supprimait certains développements devenus sans intérêt ou reportés dans d'autres cours de l'École, il y a ajouté bon nombre de documents inédits jusqu'à ce jour et a fait connaître les progrès les plus récents réalisés dans la navigation intérieure.

L'ouvrage complet doit comprendre trois volumes : 1° *Fleuves et rivières à courant libre ;* 2° *Fleuves et rivières canalisés ;* 3° *Canaux.* C'est le premier volume qui vient de paraître et dont nous allons rendre compte.

Une courte introduction est consacrée aux origines de la navigation, à ses développements et à son rôle économique en France et à l'Étranger. L'auteur passe rapidement en revue le réseau des voies navigables Françaises, les grands fleuves de l'Europe centrale, le système de navigation dans l'Empire Russe, les grands lacs de l'Amérique du Nord, et fait ressortir l'importance que la navigation a conservée, même depuis la création des chemins de fer, dans les transports commerciaux. Après cet exposé sommaire, il entre directement en matière.

Ce volume est divisé en sept chapitres.

Le premier traite de l'état naturel des cours d'eau, de l'origine et du régime des eaux fluviales, de la constitution et de la forme du lit des cours d'eau. Ces données générales restent toujours à peu près les mêmes. Toutefois M. de Mas les a mises en harmonie avec les statistiques les plus récentes et y a introduit, sur la constitution et le régime des cours d'eau, quelques aperçus sinon nouveaux, du moins présentés sous une forme plus saisissante, qu'il a empruntés à la remarquable communication, faite en 1894, par M. l'Ingénieur en chef Girardon, au VIe Congrès international de Navigation intérieure, à la Haye.

Dans le second chapitre, M. de Mas s'occupe des opérations et observations relatives à l'étude des cours d'eau et de leur régime. Une partie importante est consacrée à la prévision, ainsi qu'à l'annonce des crues et des inondations. M. Guillemain avait spécialement étudié la question dans le bassin de la Loire. Tout en résumant cette étude, M. de Mas la complète par des renseignements nouveaux, applicables non seulement à ce bassin, mais encore à celui de l'Elbe en Bohême, à celui de la Seine et aux rivières des départements de l'Ardèche, du Gard, de l'Hérault.

Après avoir ainsi examiné les fleuves et les rivières dans leur constitution et leur régime, M. de Mas fait connaître dans le chapitre III le matériel et les procédés de la navigation fluviale, c'est-à-dire les véhicules et les moteurs qui doivent utiliser la voie d'eau.

Ce chapitre est l'un des plus intéressants. L'auteur signale l'extrême variété des types de bateaux qui existent encore en France et les effets de la loi du 5 août 1879, qui a donné la prépondé-

rance au type de la péniche flamande. Il rend compte ensuite du résultat de ses expériences personnelles sur la résistance des bateaux à la traction, de celles qui ont été faites presque simultanément par la Société I. R. P. de la navigation sur le Danube, et s'attache à justifier la conclusion pratique qui en ressort : c'est que, tout en conservant des coefficients de déplacement supérieurs à 0,90, on peut donner aux deux extrémités des bateaux une forme de cuiller, bien plus avantageuse que la forme massive et carrée adoptée dans le type qui a prévalu en France, celui de la péniche flamande.

Puis M. de Mas passe en revue les divers modes de propulsion et de traction, le halage, le remorquage, le touage. Il en envisage les diverses applications tant en France qu'à l'Étranger, notamment sur l'Elbe, où règne sans solution de continuité une chaîne de touage de plus de 600 kilomètres de longueur, depuis Hambourg jusqu'au grand port fluvial d'Aussig en Bohême. Il termine ce chapitre par la description de la poulie magnétique de M. de Bovet, qui a résolu, d'une manière aussi simple qu'ingénieuse, le problème de la transformation des toueurs de la Seine en bateaux appropriés à la fois au touage et au remorquage.

Le chapitre IV traite des premières améliorations qu'exige une rivière navigable prise dans son état naturel et de quelques questions d'ordre général qui s'y rattachent directement. Il comprend les travaux exécutés dans le chenal, les défenses de rives, la construction des digues, les chemins de halage, la délimitation du lit des cours d'eau navigables ou flottables et les murs de quai inclinés ou verticaux. Les exemples de quais sont généralement empruntés à la Seine, et l'un d'eux à Ludwigshafen en Allemagne ; mais ils restent limités aux rivières ; les grands murs de quais à la mer sont réservés pour le cours de travaux maritimes.

Le chapitre V est consacré aux travaux contre les inondations. M. Guillemain avait traité cette question d'une manière tellement magistrale que M. de Mas était naturellement amené à le suivre dans cette voie. Il s'est donc placé au même point de vue ; il a reproduit la plupart des considérations qu'avait fait valoir son honorable prédécesseur et a maintenu les mêmes conclusions, qui sont d'ailleurs devenues classiques et sont acceptées par l'immense majorité des ingénieurs. Mais il a ajouté un passage intéressant sur les endiguements de la Theiss dans la plaine de Hongrie, et, sans entrer dans les mêmes développements que M. Guillemain sur les digues de la Loire, il a fait connaître les principaux déversoirs exécutés dans ces digues, conformément

au programme général arrêté à la suite des inondations de 1846, 1856, 1866. Il a donné, en outre, comme exemple des travaux de défense des villes, celui d'Amboise. Le chapitre se termine par des observations judicieuses sur l'intervention des riverains dans l'exécution et l'entretien des endiguements ainsi que des défenses de rives.

Dans le chapitre VI, M. de Mas étudie, d'après les documents les plus récents et surtout d'après ceux qui ont été publiés dans les divers Congrès de Navigation, une question qui offre peut-être plus d'intérêt dans les autres États de l'Europe, où existe surtout une navigation fluviale, qu'en France, où domine la navigation en canal ou en rivière canalisée, mais qui n'en présente pas moins une importance de premier ordre : c'est celle de l'amélioration des rivières à courant libre.

Après avoir démontré l'inefficacité des digues longitudinales et des épis transversaux considérés isolément, M. de Mas envisage le système mixte résultant de l'emploi combiné de ces deux moyens, tel qu'il est pratiqué sur le Rhône en France et sur les grands fleuves de l'Europe centrale. Se référant aux considérations générales qu'il a présentées au chapitre Ier sur la constitution et la forme du lit des rivières, il montre comment les procédés adoptés sur le Rhône, d'abord par M. Jacquet, puis par M. Girardon, ne sont que l'application rationnelle du principe fondamental de la continuité. Il fait ressortir l'analogie des règles suivies par ces ingénieurs pour le tracé des rives avec celles qu'avait formulées depuis longtemps M. l'Inspecteur général Fargue dans les travaux de la Garonne. Il fait enfin connaître le mode d'exécution des travaux et les résultats remarquables obtenus sur le Rhône.

Passant de là en Allemagne, où les travaux de régularisation ont été pratiqués sur une si large échelle, M. de Mas décrit les principaux d'entre eux exécutés sur le Rhin, l'Elbe, l'Oder, et constate que les principes adoptés en Allemagne sont les mêmes qu'en France.

Finalement il arrive à cette conclusion que confirme l'expérience et que l'on fera bien de méditer au moment où l'on va étendre les mêmes procédés à l'amélioration de la Loire : c'est que les travaux de régularisation ne sont susceptibles de donner de sérieux résultats que sur les cours d'eau à grand débit d'étiage (condition *sine qua non*) et à pente modérée.

Le dernier chapitre consacré à l'exploitation est un des plus nouveaux et un de ceux qui méritent le plus de fixer l'attention

M. de Mas s'occupe d'abord de l'entretien de la voie. Dans l'impossibilité de reproduire les détails dans lesquels il est entré, nous nous bornons à signaler ceux qu'il donne sur les précautions à prendre contre les glaces et sur le déglaçage du chenal.

Revenant ensuite sur le matériel de la traction, il discute les procédés spécialement applicables aux rivières, la composition des convois remorqués, le mode d'attelage des bateaux sur la Seine, le Rhin, le Danube et les grands fleuves d'Amérique, tels que l'Ohio et le Mississipi. Puis il donne des renseignements intéressants sur le matériel et la traction, plutôt encore projetés que sanctionnés par une expérience décisive, pour le Rhône, entre Lyon et Saint-Louis.

De là il passe à l'exploitation technique et commerciale et résume brièvement les règlements de police qui la régissent.

Mais les voies navigables n'ont de valeur que par les ports qui les desservent. Après avoir montré l'avantage qu'offrent ces voies de se prêter, sur presque tout leur parcours, aux opérations de chargement et de déchargement, M. de Mas insiste tout spécialement sur l'utilité des ports publics et particuliers, sur les conditions qu'ils doivent remplir et l'outillage qu'ils doivent posséder. Il cite, comme exemple, les ports de la Seine dans la traversée de Paris, dont le tonnage dépasse celui de Marseille. Puis il donne la description de quelques-uns des grands ports de l'Europe centrale, qui constituent de véritables modèles pour l'outillage des ports fluviaux, et forment, sur le Rhin, deux groupes importants, d'une part, celui de Mannheim et de Ludwigshafen, d'autre part, celui des ports de Wetsphalie, dont le principal est celui de Rurhort. L'outillage de ces ports réalise tous les progrès de la science moderne ; mais, quelle que soit la puissance de ces installations, celles-ci deviennent bientôt insuffisantes en présence du développement rapide d'un trafic, notablement supérieur à celui des plus grands ports maritimes de l'Europe.

La dernière partie de ce chapitre, qui ne le cède pas en intérêt aux précédentes, est consacrée aux résultats financiers obtenus en France et en Allemagne et au prix du fret, qui, dans ces deux pays, en est la donnée caractéristique. Tandis que, sur le Rhône, on paie encore 0 fr. 028 à 0 fr. 06 par tonne et par kilomètre, sur le Rhin, où le trafic est énorme, où circule un matériel extrêmement perfectionné, ce prix s'abaisse, en moyenne, à 0 fr. 01 pour les marchandises en vrac et à 0 fr. 025 pour celles qui sont emballées. C'est ainsi que, par l'intensité de leur navigation et par les progrès apportés dans leur exploitation, les

Allemands arrivent à obtenir des prix que nous connaissons à peine en France sur des rivières canalisées, théoriquement plus parfaites.

L'ouvrage se termine par plusieurs notes ou annexes sur les fluviographes en service aux barrages de Suresnes, sur les instructions et règlements relatifs à l'annonce des crues et inondations dans le bassin de la Seine, enfin sur la récapitulation des dépenses faites pour la régularisation du Rhin entre Mayence et la frontière néerlandaise depuis 1816, pour celle de l'Elbe entre la frontière de Saxe et Hambourg depuis 1859, de l'Oder entre Oderberg et Schrwedt depuis 1874 et, en dernier lieu, du Rhône entre Lyon et la mer depuis 1871.

Le tout, rédigé sous une forme concise et élégante, est accompagné de planches nombreuses, intercalées dans le texte, qui en facilitent l'intelligence. Les élèves de l'École des Ponts et Chaussées y puiseront un enseignement digne de cette École ; les ingénieurs, déjà en fonctions, qui ont à s'occuper de navigation, n'en tireront pas un moindre profit, par les idées judicieuses qui y sont exprimées et les documents inédits qui y sont réunis, surtout sur la navigation de l'Europe centrale. Nous ne pouvons qu'exprimer le désir de voir M. de Mas compléter cette œuvre par la publication des deux derniers volumes.

Paris, le 12 juin 1899.

N° 30

Traité de Nomographie. — Théorie des abaques. — Applications diverses

Par Maurice d'OCAGNE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École polytechnique. — Paris, Gauthier-Villars, 1899. — Compte rendu par M. Ed. Collignon, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

En 1891 M. d'Ocagne a fait paraître, sous le titre de *Nomographie*, un essai de la théorie des abaques. Le *Traité de Nomographie* qu'il vient de publier peut être considéré comme un développement magistral de l'essai de 1891. Au lieu d'une brochure d'une centaine de pages, nous trouvons ici un volume de trente feuilles, rempli de théories rationnelles et d'applications variées. C'est bien un *Traité*, si l'on en juge par l'abondance des matières étudiées et par l'ampleur des résultats obtenus. L'auteur s'est attaché dans son nouvel ouvrage à donner la doctrine complète de la représentation cotée des équations, quel que soit le nombre des variables qu'elles renferment, et à rattacher à une seule et même théorie toutes les solutions qu'on peut imaginer d'un problème aussi général. L'application des principes de dualité et d'homographie l'a conduit à indiquer la solution qui doit être préférée dans chaque question particulière. On doit citer à part son VIe et dernier chapitre, où il détermine et classe tous les modes possibles de représentation des équations, et où il fait la synthèse des diverses méthodes exposées dans les chapitres précédents : ce dernier chapitre intéressera particulièrement les analystes. Mais le point de vue pratique n'est pas non plus négligé par M. d'Ocagne : il traite à fond une foule de problèmes empruntés à l'art des constructions, à l'hydraulique, à la navigation, à la géodésie, aux sciences physiques, aux opérations financières, etc. La brochure de 1891 a été, on s'en souvient, fort appréciée dans le monde scientifique et industriel, et elle a provoqué la construction de nombreux abaques pour les diverses branches des sciences appliquées. Nous ne doutons pas que le *Traité de Nomographie* n'obtienne un succès égal. Si les géomètres trouvent dans cet

ouvrage d'intéressants sujets de recherches, tous ceux qui ont de longs calculs à faire seront heureux d'y découvrir des tracés de diagrammes propres à épargner leur temps et leur peine. A cet égard le nouveau livre de M. d'Ocagne sera surtout utile aux Ingénieurs, auxquels il fournira dans beaucoup d'occasions des procédés élégants, précis et rapides de résolution de questions complexes, telles qu'il s'en rencontre si fréquemment dans le cours d'une carrière active.

Paris, le 24 juin 1899.

COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES.

N° 31

PÉRIODIQUES FRANÇAIS.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Le Ciment (mars 1899) : M. de Tedesco. — *Planchers en fer et béton* (système Matray). — L'idée de l'inventeur a été d'utiliser le métal le mieux possible en l'employant sous la forme de câbles de suspension, pour lesquels la tension est sensiblement uniforme d'une extrémité à l'autre, alors que pour les poutres rigides elle varie de 0 à un ou plusieurs maxima.

Cette idée a été réalisée au moyen d'une série de tiges d'acier de faible diamètre, amarrées et suspendues aux poutres métalliques de manière à former des chaînettes très surbaissées, enrobées de 0m,10 de béton.

Le Génie civil (4 mars 1899): *La charpente-abri de la nouvelle gare de Lyon.* — Outre les dessins relatifs à la charpente-abri, l'article donne le plan et la coupe transversale de la nouvelle gare. La charpente-abri couvre le bâtiment en construction sur le front de la gare. Elle consiste en une toiture légère, portée par des fermes sans tirants, de 26m,10 de portée. Ces fermes, dont le faîtage s'élève à 32m,50 au-dessus du sol, sont appuyées, à chaque extrémité, sur une double ligne de poteaux plantés extérieurement aux murs des nouveaux bâtiments.

Les parois sont faites en planches et en vitrages. Moyennant les abris de ce genre, dont l'usage se répand, on obtient un

travail continu, indépendant des saisons et des accidents atmosphériques, grâce auquel on peut achever à date fixe une construction très pressée.

—— (18 mars 1899) : Henry Martin. — *Travaux de consolidation exécutés sur le chemin de fer d'Arzew à Aïn-Sefra.* — Le chemin de fer se développe à flanc de coteau, avant la station de Tizi, sur un massif en pente appuyé contre une couche argileuse de même inclinaison que le coteau. Des mouvements se produisirent, qu'on ne parvint point à arrêter par l'emploi des procédés habituels (rassemblement et écoulement inoffensif des eaux d'amont). On finit par s'apercevoir que le torrent qui coulait au pied du coteau s'approfondissait en rongeant la base du massif; et que cette base, se réduisant de plus en plus, le massif tout entier, glissant sur l'argile, ne tarderait point à s'ébouler. Le remède a consisté dans l'établissement, sur le lit du torrent, de barrages échelonnés qui ont amené le relèvement du fond.

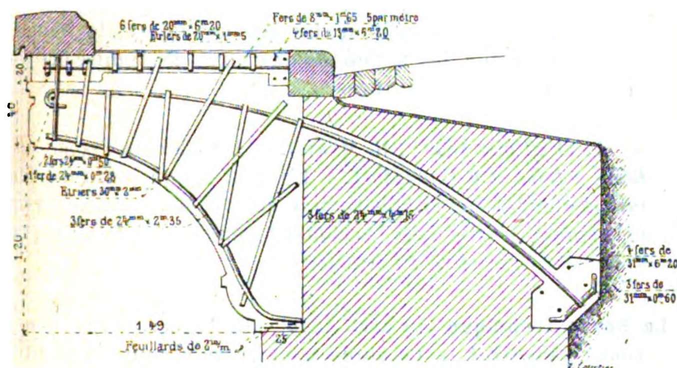
—— (15 avril 1899): L. Viennot. — *Influence des armatures métalliques sur les propriétés des mortiers et bétons.* — Examinant les expériences faites par M. Considère, l'auteur émet l'avis que les différences constatées dans les résultats de ces expériences pourraient tenir à l'écartement variable des fils ou tiges métalliques noyés dans le ciment, à cause de la décroissance avec la distance de l'effet d'entraînement du fer sur le ciment.

Dans une lettre reproduite à la suite des observations de M. Viennot, M. Considère admet le bien-fondé de cette considération.

La Revue technique (10 mars 1899): G. Leugny. — *Le chemin de fer de Courcelles à Passy et au Champ de Mars.* — La nouvelle ligne double le chemin de fer de Ceinture entre la station de Courcelles-Levallois et un point intermédiaire entre les stations de l'avenue du Trocadéro et de Passy. En ce point, elle se sépare de la Ceinture et entre en souterrain, traverse la Seine sur un viaduc et se soude au pont de Grenelle avec le chemin de fer des Moulineaux, qu'elle suit jusqu'à la gare du Champ de Mars.

L'élargissement de la plate-forme, nécessité par le doublement de la voie, a pu être obtenu par la substitution de murs

de soutènement aux talus de déblais. Toutefois il a fallu, sur certains points, mettre en encorbellement sur la voie ferrée le bord d'une chaussée riveraine de cette voie. On a soutenu ces



porte-à-faux, construits en béton armé, au moyen de consoles de même structure, dont la saillie variait de 0m,80 à 3 mètres. Le béton était pilonné dans des moules autour du grillage métallique.

— (10 avril 1899): *Peinture au ciment pour la protection du fer.* — En vue de soustraire à l'oxydation les parties métalliques des ponts qui y sont le plus exposées, on a fait usage en Autriche et en Allemagne, d'un enduit au ciment de Portland.

En Autriche, après avoir brossé et mouillé le fer, on passe une double couche de lait de ciment de Portland un peu épais et additionné de sable fin à arêtes vives.

A Berlin, on a employé avec succès un enduit de mortier au ciment à un tiers, pour préserver des fers enterrés.

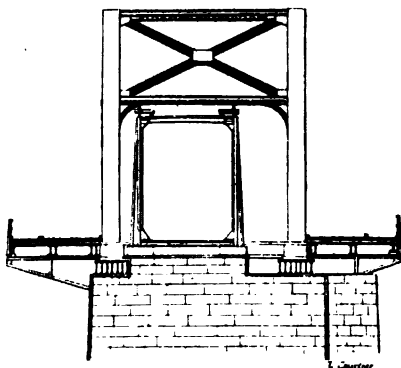
III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Ciment (mai 1899) : *Le nouveau pont de Vauxhall, à Londres.* — Les arches en fonte du pont de Vauxhall, construit de 1811 à 1816 et composé de neuf arches dont sept de 44m,20 et deux (de rive) de 40 mètres, vont être remplacées par des arches en béton à triple articulation, de 0m,94 d'épaisseur, tant aux naissances qu'à la clef.

Le Génie civil (15 avril 1899) : E. Campagne. — *Station centrale de fiacres électriques de la Compagnie générale des voitures de Paris.* — Dans cet article, accompagné d'un grand nombre de dessins et de phototypies, l'auteur examine successivement les véhicules adoptés, le moteur, les accumulateurs, le freinage, l'usine électrique, les bâtiments de charge, la remise des voitures, la marche des voitures.

—— (20 et 27 mai 1899) : H. Martin. — *Les nouveaux ponts sur le Rhin, à Bonn et à Dusseldorf.* — L'auteur donne des renseignements étendus sur la construction de ces deux ponts, déjà sommairement décrits dans les comptes rendus des *Annales* (1898, 4e trimestre; et 1899, 1er trimestre).

La Revue technique (10 avril 1899) : D. Bellet. — *Le nouveau pont de Montréal.* — Le grand pont à voie unique de Montréal, bâti en 1849 par Robert Stephenson sur le Saint-Laurent, était devenu tout à fait insuffisant, au point qu'on établissait sur la glace, pendant l'hiver, une voie provisoire traversant le fleuve. Ce pont consistait en une poutre tubulaire carrée à parois pleines appuyée sur vingt-trois piles et deux culées en maçonnerie.



On vient de le refaire en construisant le nouveau pont *autour du vieux.* Le toit de celui-ci a servi d'appui et de chemin de déplacement à une légère ferme de montage servant à soutenir, pendant leur montage, les poutres à grandes mailles articulées des nouvelles travées.

Le nouveau pont est à double voie.

Des encorbellements soutenus par des consoles portent de chaque côté une voie charretière avec trottoir.

La construction du nouveau pont, commencée le 8 décembre 1897, a été terminée le 19 août 1898. Il n'y a eu que *vingt-cinq heures* d'interruption de trafic. On a ensuite démoli et enlevé le vieux pont.

— (25 mai 1899) : *Un vieux pont suspendu à chaînes.* — Il existe aux États-Unis, sur la rivière Merrimac, dans l'État de Massachussetts, un pont suspendu de 69 mètres d'ouverture, construit en 1809, dont les câbles de suspension sont des chaînes composées d'anneaux de $0^m,075$ de longueur et de $0^m,066$ de largeur. Ces chaînes sont en parfait état, comme au premier jour. La dépense d'entretien est insignifiante.

V. — Travaux maritimes.

La Revue technique (25 mars 1899) : G. Leugny. — *Les travaux d'amélioration du port du Havre.* — Ces travaux, destinés à remédier aux graves défauts du port actuel, comprennent :

1° La construction, en avant de l'entrée actuelle du port, de deux digues convergentes formant un nouvel avant-port de 60 hectares de superficie, accessible par deux passes extérieures, dirigées l'une vers l'ouest et l'autre vers le nord-ouest;

2° Le rescindement des jetées actuelles et d'une partie des fronts de la Floride pour faciliter l'accès des nouveaux bassins et la construction dans cette partie du port d'un quai d'escale fondé à grande profondeur;

3° L'exécution de dragages à l'intérieur et à l'extérieur du nouvel avant-port;

4° La construction d'une grande écluse donnant un accès plus direct et plus profond au bassin de l'Eure et au bassin Bellot;

5° L'exécution de travaux de défense contre la mer au pied des falaises de la Hève.

— (25 mai 1899) : G. Leugny. — *Le canal de Marseille au Rhône.* — L'auteur, après avoir exposé l'utilité et le rôle économique du canal projeté entre Port-Saint-Louis et l'anse de la Madrague, au nord du port de Marseille, rend compte des dispositions techniques prévues pour ce canal.

La longueur est de 55 kilomètres dont 47 1/2 à ciel ouvert et 7 1/2 en souterrains.

Le tirant d'eau est de 3 mètres entre Marseille et Port-de-Bouc et de 2 mètres entre Port-de-Bouc et le Rhône.

La largeur de la cuvette est de 50 mètres au plafond dans le golfe de Marseille et les étangs de Bolmon, de Berre et de Caronte ; elle est de 46 mètres entre Port-de-Bouc et le Rhône, et se réduit à 17 mètres dans le souterrain du Rove, ainsi que dans les tranchées de la Lave, de Gignac et de la Mède.

L'espace libre entre la clef de voûte du souterrain du Rove et le niveau des plus hautes eaux mesure 12 mètres.

La dépense est estimée 80 millions, dont la moitié fournie par les corps locaux intéressés.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (avril 1899) : P. Guédon. — *Les locomotives à tiroirs cylindriques système Ricour et la distribution système Pierre Guédon.* — Les pressions élevées réalisées aujourd'hui dans les locomotives font recourir de plus en plus à l'usage des tiroirs cylindriques dont le frottement est très faible (1/4 des frottements des tiroirs ordinaires et 1/2 de ceux des tiroirs dits équilibrés) et qui offrent toute facilité pour augmenter la longueur des lumières. Les tiroirs cylindriques, largement employés à l'Étranger, ne sont en France d'un usage courant qu'aux chemins de fer de l'État où, dès 1884, M. Ricour en munissait cent trente locomotives.

Après avoir décrit les tiroirs de ces locomotives et étudié la compression de la vapeur dans l'espace mort, l'auteur rend compte de la distribution à recouvrements variables qu'il a imaginée.

Le Génie civil (22 et 29 avril 1899) : Henry Martin. — *Le chemin de fer de la Jungfrau.* — Nous avons rendu compte, dans le précédent volume des *Annales*, d'après un article de M. Gol-fernaux publié dans *le Génie civil*, des principales dispositions adoptées pour le tracé du chemin de fer de la Jungfrau. L'article de M. Henry Martin revient sur ces considérations, il est accompagné de dessins et de photographies qui permettent de suivre le tracé dans la montagne. Il donne l'exposé du système de traction électrique projeté, la description de l'infrastru[illegible]

ture, celle du percement du grand tunnel, celle de la superstructure, du matériel roulant et des gares et stations.

Nouvelles Annales de la Construction (mars, avril et mai 1899) : J. Hervieu. — *Le chemin de fer métropolitain de Paris.* — L'auteur donne, sur un plan de Paris, le tracé des lignes concédées, dont six à titre définitif et trois à titre éventuel. Il les décrit en plan et en profil et rend compte des conditions techniques et financières de la concession. Il termine cet exposé par une description détaillée de la première fraction métropolitaine, comprenant la ligne de la Porte-de-Vincennes à la Porte-Maillot avec embranchements de la place de l'Étoile à la Porte-Dauphine et au Trocadéro, qui est maintenant en cours d'exécution.

Revue générale des Chemins de fer (avril 1899) : J. Michel. — *Le mode de pose de la voie des chemins de fer dans les souterrains.* — L'usage est d'établir les voies en parcours de souterrain, comme celles à ciel ouvert, sur des traverses noyées dans du ballast.

Dans ces conditions, la pose est chère; l'entretien est dispendieux et laisse toujours à désirer.

Cependant le ballast n'est pas indispensable dans tous les cas. On peut se dispenser d'en faire usage quand on dispose, comme sur les ponts métalliques, d'une assiette résistante. Le rail se pose sur des longrines solidement fixées à l'ossature du pont.

Rien n'empêcherait d'adopter le même système dans les souterrains à radier maçonné. Non seulement l'entretien serait meilleur et moins cher, mais les dépenses de premier établissement se trouveraient diminuées. Il existe en Angleterre quelques exemples de voies sans ballast dans des souterrains.

—— (Avril 1899) : F. Panoux. — *Note sur une distribution spéciale de vapeur appliquée à une locomotive de la Compagnie du Nord de l'Espagne.* — « La distribution dont il s'agit a pour objet d'obtenir une meilleure utilisation de la vapeur, en réduisant le laminage, par une ouverture plus grande et une fermeture plus rapide des orifices, et en augmentant la période de détente par la diminution de l'avance à l'échappement, tout en diminuant également la compression, mais en laissant à cette

dernière phase la valeur suffisante pour produire, dans les fonds de cylindre, le *matelas* de vapeur nécessaire au bon fonctionnement de la machine. »

L'économie de combustible réalisée par l'emploi de cette distribution atteint jusqu'à 10 0/0 pour certains trains, ceux qui ne sont pas trop lourds et dont la vitesse est un peu grande.

—— (Avril 1899) : CHRONIQUE. — *Le matériel roulant des chemins de fer français.* — On a prétendu que le matériel roulant des chemins de fer français est très inférieur en quantité à celui des chemins de fer allemands et qu'il est beaucoup trop restreint.

Le *Journal des Transports*, s'appuyant sur les documents officiels, fait justice de cette allégation, dans un article du 11 février dernier.

Il établit que, en 1896, il y avait :

Par 100 millions d'unités de trafic :

Voyageurs, en France..............	231 voitures
— en Allemagne...........	214 —

Par 100 millions d'unités de trafic:

Marchandises, en France...........	2.055 wagons
— en Allemagne........	1.300 —

Par 100 millions d'unités de trafic :

Voyageurs et marchandises, en France...	41,5 locomotives
— en Allemagne.	39,1 —

—— (Mai 1899) : J. MICHEL. — *Le chemin de fer du Saint-Gothard : le matériel de la voie ; le personnel de l'exploitation.* — L'auteur rend compte des travaux ayant coûté 392.177 francs, qu'on a exécutés en 1897 pour refaire ou renforcer la superstructure, en vue de mettre la voie en état de résister à l'accroissement de poids du matériel roulant et à l'augmentation de vitesse des trains.

Les travaux de réfection, exécutés sur 6.588 mètres, ont consisté : à remplacer le rail primitif, pesant $36^{kg},6$ et 37 kilogrammes, par un rail de 46 kilogrammes en voie courante et de 48 kilogrammes dans les longs tunnels ; à remplacer tant

les traverses en bois que les traverses métalliques de 2m,40 de long, pesant 55 kilogrammes, par des traverses métalliques de 2m,70 de long, pesant 73 kilogrammes, et à consolider les joints à l'aide d'éclisses à clavettes d'un nouveau modèle.

Les travaux de renforcement de la voie, exécutés sur 56.974 mètres comportent une augmentation du nombre des traverses entre les joints et l'éclissage du joint avec les nouvelles éclisses à clavettes.

Rails, traverses et éclisses sont décrits et représentés par des dessins. F. D.

IX. — ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE.

L'Éclairage électrique (1er avril 1899) : H. ARMAGNAT. — *Instruments de mesure*. — Description, d'après les brevets récents, de plusieurs types nouveaux de compteurs : Hookam, Feldmann, Steinmetz, Shand, Thomson et Pratt.

—— (8 avril 1899) : G. RICHARD. — *Applications mécaniques de l'électricité*. — Description des ascenseurs Sprague, Siemens et Halske, Roberts, Otis ; pont roulant de Sawyer ; compresseurs Thomson-Houston d'après les récents brevets.

—— (8 avril 1899) : *Description des compteurs électriques de Cauro et Peloux*.

—— (22 avril 1899) : NATALIS. — *Étude des feeders de retour d'une ligne de tramway électrique*. — M. Tripier donne une traduction d'une longue étude mathématique de M. Natalis, déjà signalée en son temps, en 1898.

—— (6 et 13 mai 1899) : C.-F. GUILBERT. — *Machines dynamo-électriques*. — Description, d'après de récents brevets, des moteurs à courants alternatifs de Stanley, Langdon, Rosenauwist, Steinmetz (Thomson-Houston), etc. ; dispositifs de la Compagnie Thomson-Houston pour le démarrage des moteurs à courants alternatifs ; moteurs asynchrones Bradley ; commutatrices diphasées de Westinghouse.

—— (20 et 27 mai 1899) : REVAL. — *Chemin de fer électrique de Stanstad à Engelberg*. — Cette ligne, qui part du lac des Quatre-

Cantons, a une longueur totale de 22^{km},5, dont 1^{km},5 à crémaillère avec une rampe de 250 0/0; sur la partie à adhérence, la rampe maxima est de 50 0/0. Cette ligne est intéressante, surtout parce qu'elle est exploitée par courant triphasé système Brown-Bovéri.

La station génératrice placée au pied même de la crémaillère comprendra trois groupes électrogènes dont deux installés de 180 chevaux. Les deux tiers de la puissance sont distribués directement à 750 volts; le reste est transformé à 5.300 volts et distribué à la partie la plus éloignée de la ligne par des feeders de 3^{mm},5 et de 11 kilomètres de long. Le matériel roulant comprend des voitures automotrices avec moteur dans les bogies, et pour le service de la crémaillère deux locomotives analogues à celles du Gornergrat; la traction se fait par automobiles sur toute la voie avec voitures remorquées sur la plus grande partie du parcours; sur la partie en crémaillère, le train se réduit à une automobile poussée par une locomotive. A la descente, le train de 28 tonnes restitue par ses moteurs une puissance de 78 chevaux qu'on est obligé d'absorber à la station par des rhéostats plongés dans l'eau.

—— (10 et 24 juin 1899) : Ch. Jacquin. — *Note sur la traction électrique dans quelques grandes villes d'Europe.* — Dans ces deux articles, l'auteur esquisse à grands traits une vue d'ensemble des moyens de locomotion (Chemin de fer métropolitain à Londres, Liverpool, Glasgow, Edinburgh, Vienne et Buda-Pest. Il décrit en particulier le tracé des lignes, le gabarit du matériel roulant, les conditions d'exploitation, et indique quelques tarifs.

—— (24 juin 1899) : P. Dupuy. — *L'ambroïne et ses applications.* — Description des récentes applications faites de la matière isolante appelée ambroïne, notamment pour les bagues d'accumulateurs, les isolateurs des lignes de tramways, etc.

—— (1er juillet 1899) : Bohm-Raffay (traduit par Mauduit). — *Sur les feeders de retour dans les tramways électriques.* — Article assez mathématique contenant une méthode analytique et graphique un peu plus simple que celle de M. Natalis.

—— (1er juillet 1899) : G. Richard. — *Applications mécaniques de l'électricité.* — Description d'après les brevets des dispositifs

Tesla pour la manœuvre des navires par ondes hertziennes; pompe électrique Eickmeyer; table de laminoir avec dispositif électro-magnétique de triage.

L'Industrie électrique (25 avril 1899) : E. H. — *Les fiacres électriques de la Compagnie générale, à Paris.* — L'auteur décrit le type des voitures électriques adopté par la Compagnie générale des voitures, landaulet et victoria, et fait connaître la disposition de l'usine électrique d'Aubervilliers, installée pour les 100 voitures actuellement en service et prévue pour 1.000. Plus tard il y aura trois autres usines semblables aux autres extrémités de Paris.

—— (10 mai 1899) : E. Hospitalier. — *Les tramways électriques de Tours.* — Description illustrée du système à contact superficiel Diato, tel qu'il est employé depuis peu de temps, à Tours. On sait qu'il consiste en pavés isolés à calotte de fer sous laquelle se trouve un goujon également en fer plongé dans une coupe à mercure reliée à la canalisation. Au passage de la voiture, un électro-aimant placé sous celle-ci attire le goujon qui vient faire contact.

—— (10 mai 1899) : E. Hospitalier. — *Tarification de l'énergie électrique; système Brown et Routin.* — L'auteur présente un résumé intéressant des systèmes de tarification actuellement en usage : la vente à forfait, le compteur horaire, le tarif uniforme simple ou avec taxe fixe proportionnelle à la puissance des appareils installés, ou avec rabais proportionnel à la consommation, ou avec rabais proportionnel à la consommation spécifique. Enfin, après avoir critiqué ces diverses méthodes, il passe en revue les systèmes modernes : tarif différentiel de Wright, système à double compteur, et enfin le dernier venu, le tarif mobile, système Brown et Routin, qui n'exige chez l'abonné qu'un seul compteur, grâce à l'emploi de minuteries réglées à des vitesses variables, suivant les heures de la journée, par une horloge centrale. Les avantages sont d'une grande simplicité, et une variation du tarif mobile à volonté est sous le contrôle de l'abonné.

—— (10 mai 1899) : P. Gasnier. — *Compteur d'énergie Aron.* — Description très détaillée de tous les organes du nouveau

compteur Aron, qui présente plusieurs perfectionnements par rapport aux anciens.

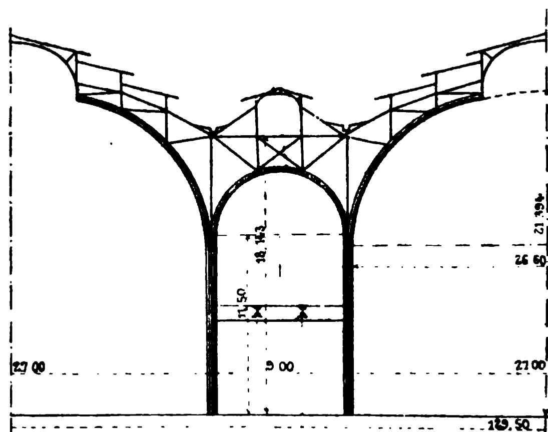
—— (25 juin 1899) : *Éclissage électrique des rails de tramways par le système Falk*, — Courte description du joint soudé à la fonte et des résultats obtenus en Europe dans de récentes applications.

Un joint Falk coûte en France 16 à 20 francs, 2 francs de plus qu'un éclissage par double fil de cuivre; mais l'entretien de la voie est extrêmement réduit.

A. B.

X. — Architecture.

Le Génie civil (18 mars 1899): R. Weil. — *Exposition de 1900. Palais du génie civil et des moyens de transport.* — L'auteur donne la description du palais du génie civil, disposé en forme de gril, avec trois halls de 27 mètres, séparés les uns des autres par des galeries à double étage de 9 mètres et recoupés transversalement par d'autres galeries. Les fermes



se composent de deux grandes consoles en encorbellement, abritant chacune la moitié d'un hall, liées l'une à l'autre et maintenues en direction par le bâti surmontant la galerie intermédiaire de 9 mètres.

Revue technique (25 mai 1899) : *Le métal déployé à l'Exposition.* — Au moyen de châssis légers en bois brut, tendus de lattis de métal déployé et recouverts d'un enduit de plâtre, on édifie des façades d'une régularité géométrique, d'une finesse de moulures irréprochable et d'une résistance à toute épreuve aux intempéries. Plusieurs palais de l'Exposition, dont il est donné des vues photographiques, ont leurs façades exécutées dans ce système aussi rapide qu'économique.

XI. — Administration. — Législation. — Économie politique.

Revue politique et parlementaire (février 1899) : C. Colson. — *Revue des questions de transports. Les frais accessoires et les conditions d'applications des tarifs spéciaux.* — Le public commercial s'est vivement ému, au début de l'année, des modifications apportées par le Ministre des travaux publics au tarif des frais accessoires (manutention, pesage, magasinage, etc.). La question était à l'étude depuis plus de quatre ans. Concertée avec celle de l'unification des tarifs des différents réseaux, — il ne s'agissait plus de relever des taxes dans un intérêt fiscal, — elle avait été traitée de manière à procurer au public de sérieux avantages en échange de quelques relèvements de taxes, destinés à faire disparaître des abus et, par suite, à servir aussi l'intérêt général. Mais ceux qui profitent des abus ont réclamé de toutes leurs forces, et les autres n'ont rien dit. Le gouvernement a retiré ses arrêtés.

L'auteur examine les principaux objets des transactions passées avec les compagnies.

— (Mai 1899) : C. Colson. — *Revue des questions de transports.* — *Les chemins de fer d'intérêt général en* 1898. — Les résultats de l'exploitation et la situation financière des chemins de fer se sont encore notablement améliorés. La dépense pour garantie d'intérêts est tombée à moins de 21 millions, dont 6 1/2 pour les compagnies secondaires. Il y a six ans elle était, pour les grandes compagnies, de 100 millions, répartis entre cinq d'entre elles. Trois compagnies seulement, l'Est, l'Ouest et le Midi, font encore appel à cette garantie. Celle du P.-L.-M. a complètement éteint sa dette en 1897; celle d'Orléans entre cette année dans la période de remboursement et verse à l'État 4 millions d'ex-

cédents qui ramènent à 10.400.000 francs les charges nettes provenant des grandes compagnies.

L'auteur examine successivement : *les dépenses d'établissement ; les recettes et les dépenses d'exploitation ; la situation particulière des différents réseaux;* et il termine cette intéressante étude par une *comparaison des chemins de fer français avec les chemins de fer anglais et allemands.*

XII. — Divers.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (février 1899) : Amiragaud (jeune). — *Historique des tentatives et des applications de la locomotion par entraînement continu (chemin mobile) jusqu'à la plate-forme électrique à deux vitesses, destinée à l'Exposition de 1900.*

—— (Mars 1899) : A. Lalance. — *Le chauffage électrique.* — On sait que, lorsqu'on fait passer un courant électrique à travers une résistance, celle-ci s'échauffe et transmet sa chaleur par rayonnement. Tous les appareils de chauffage électrique sont construits sur ce principe. On emploie des fils fins, qu'il faut préserver de l'oxydation. On les noie à cet effet dans un émail conducteur de la chaleur, mais non conducteur de l'électricité.

Ce n'est que dans ces dernières années qu'on est parvenu à trouver un émail satisfaisant aux conditions voulues. Les fils employés ont de 1/10 à 8/10 de millimètre de diamètre. Ils s'échauffent de 300 à 450° et chauffent des plaques de métal de formes variées.

L'auteur examine, tant au point de vue de la dépense qu'au point de vue technique, les principales applications : Appareils de cuisine ou domestiques; — chauffage des appartements; — chauffage des voitures et wagons; — chauffage et ventilation.

F. D.

PÉRIODIQUES ALLEMANDS.

I. — SCIENCES APPLIQUÉES.

Oesterr, Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (mai 1899): LAUDA. — *Influence des parois d'un canal sur la rotation d'un moulinet hydrométrique.* — Exposé des recherches faites sur cette question par le bureau central hydrographique autrichien, avec de nombreux tableaux donnant les résultats obtenus.

III. — ROUTES. — PONTS ET VIADUCS.

Allgemeine Bauzeitung (1899, 2e fascicule): KARL HABERKALT. — *Le nouveau pont Saint-Jean à Ischl.* — Description très complète et très détaillée des travaux de construction d'un pont métallique de 39 mètres d'ouverture droite sur la rivière d'Ischl. Cet ouvrage a été établi en remplacement d'un ancien pont biais en bois; les travaux, exécutés en 1897-1898, ont coûté en tout 65.000 florins (soit 136.500 francs). Le poids total du pont est de 138.863 kilogrammes, dont 136.184 pour la travée proprement dite, en acier Martin. Cette travée est constituée par deux poutres paraboliques, ayant 6m,20 de hauteur au milieu et supportant le tablier. L'article, accompagné de trois planches d'atlas, donne tous les détails de la construction et tous les calculs de résistance.

Oesterr. Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (février 1899): J. MELAN. — *Un pont en béton armé dans le château d'Eichhorn en Moravie.* — Compte rendu sommaire, avec une planche d'atlas à l'appui, des travaux d'un pont-route en béton armé; la voûte, en anse de panier, a 17m,55 d'ouverture et 6 mètres de flèche. Le pont, de 6m,50 de largeur totale, a une chaussée de 5m,20; l'armature est formée de quatre poutres en I, et la maçonnerie comporte trois voûtes d'élégissement dans le sens longitudinal. La dépense totale s'est élevée à 7.000 florins.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-Vereines (1899, nº 4) : H. Rosche. — *Les viaducs de Drum et Neuschloss sur le chemin de fer transversal du Nord de la Bohême.* — Compte rendu des travaux de ces ouvrages, les plus importants de la ligne et comprenant: le premier, quatre voûtes en maçonnerie de 10 mètres d'ouverture en arc de cercle ; le second, six voûtes en plein cintre de 12 mètres d'ouverture et trois travées métalliques de 40 mètres.

—— (1899, nº 8) : Oskœr Meltzer. — *Les ponts en métal du chemin de fer d'intérêt local de Waidhofen à Gaming.* — Ce sont des viaducs métalliques formés de travées de 10 mètres d'ouverture, portées par des piles également métalliques ; les poutres sont droites et à âmes pleines ; les piles ont la forme de tréteaux composés de larges treillis ayant 5 mètres de largeur à la base et au sommet, avec un fruit transversal et un contreventement en croix de Saint-André. L'article donne la description des ouvrages avec les résultats des épreuves et des figures à l'appui. La largeur de la voie est de $0^m,76$.

IV. — Navigation intérieure.

Allgemeine Bauzeitung (1899, 1er fascicule) : Mathias Machulka. — *Le port de flottage de la prairie de l'empereur, à Prague.* — Description, avec trois planches d'atlas à l'appui, d'un projet de port de flottage à établir à Prague sur la rive gauche de la Moldau. L'article fait connaître successivement la situation du port, la forme et la grandeur du bassin, ses digues, son entrée et les différentes natures de travaux à exécuter. Le total du mouvement de terres à réaliser est de 600.000 mètres cubes, et la dépense évaluée à 1.800.000 florins (soit 3.780.000 francs).

—— Johann Ludwig Algermissen. — *Les nouvelles installations de port et de chantier de Cologne.* — Compte rendu, avec trois planches d'atlas à l'appui, des travaux exécutés récemment pour les nouvelles installations du port de Cologne, sur le Rhin. Ces installations, qui ont été mises en service en août 1898, ont coûté environ 20 millions de marks (soit 25 millions de francs). L'article donne tous les détails des travaux exécutés, bassins, voies, magasins, appareils, etc., sur les deux rives du fleuve.

— (1899, 2e fascicule) : A. Schromm. — *Rapport sur le VIIe Congrès international de Navigation à Bruxelles, en 1898.* — L'article, très développé et accompagné de nombreuses figures dans le texte et de douze planches d'atlas, est consacré au compte rendu des différents travaux de ce Congrès, ainsi que des excursions dans lesquelles on a examiné notamment Heyst, Bruges, Ostende, Anvers, Seraing et les principaux canaux de la Belgique.

Centralblatt der Bauverwaltung (1899, n° 22) : *Le canal du Rhin à l'Elbe.* — Quelques renseignements sommaires sur ce canal, composé de quatre parties, savoir : le canal de Dortmund au Rhin; celui de Dortmund à l'Ems; le canal du Centre; le Weser canalisé. Les dépenses faites pour l'exécution des divers travaux de cette voie de navigation se sont élevées à 261.000.000 marks ; les travaux ont duré huit ans.

V. — Travaux maritimes.

Centralblatt der Bauverwaltung (1899, n° 17) : Kerner. — *Le phare de Warnemünde.* — Description d'un phare, établi en 1897-1898, à Warnemünde. L'ouvrage est en maçonnerie et a $6^{m},34$ de diamètre à la base et 34 mètres de hauteur au-dessus du sol. La dépense s'est élevée à 94.000 marks (soit 117.500 francs).

— (1899, nos 31 et 32) : Fulscher. — *L'état actuel des travaux du canal de Panama.* — L'article donne des détails sur la constitution de la nouvelle société du canal de Panama et fournit des renseignements sur l'état des travaux et les projets dressés en vue de l'achèvement du canal. Plusieurs figures dans le texte, plans et profils, accompagnent l'article.

Zeitschrift für Bauwesen (1899, fascicules IV à VI) : Benoit et Roloff. — *Histoire de la construction du port de Kolberg.* — Fin de la description des travaux de construction de ce port jusqu'à l'année 1896.

— (1899, fascicules IV à VI) : Fulscher. — *La construction du canal de l'Empereur-Guillaume.* — Continuation du compte rendu des travaux (Voy. *Annales des Ponts et Chaussées,*

1er trimestre 1899, p. 348). L'article, accompagné de trois planches d'atlas, est consacré à la description du pont transversal pour chemin de fer près de Osterrönfeld. L'ouvrage est établi pour une voie et a une longueur totale de 119 mètres. La travée tournante a un débouché de 59m,40.

Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architektur Vereins (1899, n° 20) : Horn. — *La forme de radoub de Talcahuano (Chili)*. — Compte rendu des travaux de construction d'une forme de radoub de 200 mètres de longueur et de 27 mètres de largeur environ, avec trois bateaux-portes. Les travaux, exécutés par la maison française Dussaud et Chambon, ont coûté 10.926.000 marks.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Archiv für Eisenbahnwesen (1899, 1er fascicule) : 1° G. Fleck. — *Études sur l'histoire des chemins de fer prussiens (suite)*. — L'étude comprend la période comprise entre 1844 et 1847 ;

2° H. Claus. — *Les règles russes pour l'exploitation technique des chemins de fer ouverts au trafic public ;*

3° Blum. — *L'organisation des signaux allemands ;*

4° *Les chemins de fer administrés par l'État dans le royaume de Saxe, pour l'année* 1897. — Compte rendu statistique ;

5° *Statistique des chemins de fer autrichiens pour l'année* 1896;

6° *Les chemins de fer de l'État autrichien dans l'année* 1897. — Compte rendu statistique ;

7° *Le chemin de fer du Gothard pendant l'année* 1897. — Compte rendu statistique ;

8° *Les résultats de l'exploitation des chemins de fer de l'État et des six grandes Compagnies en France pour les années* 1896 *et* 1897. — Compte rendu statistique;

9° Rudolf-Nagel. — *Les chemins de fer de l'État hongrois en* 1897. — Étude statistique.

—— (1899, 2e fascicule) : 1° *Communications sur les chemins de fer anglais* (personnel, tarifs, matériel, vitesse des trains, combustible, etc., etc.) ;

2° G. Fleck. — *Études sur l'histoire des chemins de fer prussiens (suite)* ;

3° Claus. — *Les règles russes pour l'exploitation technique des chemins de fer ouverts au trafic public (fin)*;

4° *Création d'établissements sanitaires pour les malades atteints d'affections pulmonaires* (caisse des pensions pour les ouvriers des chemins de fer de l'État prussien);

5° Tolsdorff. — *Les chemins de fer de l'État prussien-hessois en* 1897-1898. — Compte rendu statistique;

6° *Les chemins de fer d'Alsace-Lorraine et de Guillaume-Luxembourg en* 1897-1898. — Compte rendu statistique;

7° *Les résultats de l'exploitation des chemins de fer italiens en* 1892;

8° *Les chemins de fer russes en* 1896. — Étude statistique.

Centralblatt der Bauverwaltung (1899, nos 11, 13 et 15) : Lauer. — *Les installations d'exploitation du métropolitain de Vienne.* — L'article donne quelques renseignements sur les installations de gare, les appareils de voies et les signaux de cette ligne.

—— (1899, n° 19) : *Les signaux automatiques du chemin de fer électrique de Liverpool.* — Renseignements sommaires sur les signaux de cette ligne de 11 kilomètres de longueur, avec quinze stations dont la distance varie de 247 à 978 mètres.

—— (1899, n° 21) : *Ouverture du grand chemin de fer central en Angleterre.* — Le 9 mars dernier, a été ouverte la section nouvelle de ce chemin de fer, qui relie Londres à Manchester, Sheffield et Lincolnshire, en utilisant un certain nombre de lignes existantes. L'article donne quelques détails sur le trafic et l'exploitation de cette ligne.

—— (1899, nos 23, 25 et 27) : *Renseignements techniques sur les chemins de fer des bassins houillers anglais.* — L'article, accompagné de plusieurs figures dans le texte, est consacré à la description des dispositions de voies dans les gares anglaises, qui font un trafic considérable de charbon, jusqu'à 2.500 tonnes par jour; il fait connaître également l'aménagement des voies et des gares de chargement dans un certain nombre de grandes gares maritimes.

—— (1899, n° 29) : Buchholtz. — *Pont tournant à deux voies.* — Description d'un pont tournant à deux voies de $12^m,50$ de diamètre et du prix de 5.600 à 5.950 marks.

Oesterr. Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (mars 1899) : Adolf Freund. — *La désinfection énergique des wagons employés au transport des animaux au moyen du chlorure de chaux.* — Exposé des différents procédés de désinfection employés dans divers pays et des résultats obtenus au moyen d'une solution de chlorure de chaux sur les chemins de fer du Nord-Empereur Ferdinand.

Zeitschrift für Bauwesen (1899, fascicules IV à VI) : Kemmann. — *Alimentation Ramsbottom pour les trains en marche.* — Historique et description du système d'alimentation Ramsbottom, avec figures et exemples à l'appui.

Zeitschrift des Oesterr. ingenieur und Architekten Vereines (1899, n°s 13 et 14) : Émile Masik. — *Détermination du surhaussement et du surécartement dans les courbes des chemins de fer à voie normale de $1^m,435$.* — Étude détaillée de ces deux questions, avec établissement des formules destinées à donner la valeur du surhaussement et du surécartement pour les différentes vitesses, et pour des courbes dont le rayon varie de 150 à 5.000 mètres.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur Wesen (1899, 1er fascicule) : O. Intze. — *Les eaux en montagne, leur amélioration et leur utilisation économique.* — Étude, à un point de vue général, de cette question, avec tableaux et graphiques, et un certain nombre d'exemples de barrages de réservoirs.

Zeitschrift für Bauwesen (1899, fascicules IV à VI) : P. Bottger. — *La canalisation de Zoppot.* — Compte rendu, avec deux planches d'atlas à l'appui, des travaux d'alimentation en eau de Zoppot, petite ville balnéaire de la mer Baltique, qui comprend environ 8.000 habitants, et où viennent en été de 9 à 10.000 baigneurs.

G. H.

XI. — ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE.

Elecktrotechnische Zeitschrift (13 avril 1899) : WEDDING. — *Sur le montage des lampes à arc par trois en série.* — L'auteur complète une précédente communication publiée dans le même journal en 1899 (n° 3). Le système essayé, qui est celui de la maison Körtung et Mathiesen, consiste dans l'emploi de trois lampes différentielles mises en série sur 110 volts avec un rhéostat de mise en marche à cinq touches qui permet de supprimer progressivement toute résistance de stabilité. L'ensemble du prix des trois lampes avec leurs globes et la résistance s'élève seulement à 468 francs. Les essais ont porté sur la stabilité et sur le rendement photométrique. Au premier point de vue, on a constaté par l'enregistrement au wattmètre que le régime est très constant. Il est, en moyenne, pour chaque lampe, de $37^{volts},15 \times 8^{amp},18 = 304$ watts; la mise au court circuit en rhéostat peut se faire en cinq secondes; après quoi la lumière reste stable aussi bien sur une batterie d'accumulateurs seule que sur une dynamo mue par moteur à gaz avec batterie en parallèle.

Les courbes photométriques relevées ont donné en moyenne pour chaque lampe, sous le régime de $7^{amp},6$, 579 pyrs (Hefner); le rendement spécifique était de 2,05 bougies par watt (d'intensité moyenne hémisphérique); et la consommation, 0,49 watt par bougie.

—— (20 avril 1899) : F. ERENS. — *Une méthode analytique et graphique pour le calcul des rhéostats de démarrage et de freinage des tramways.* — Description d'une méthode approximative reposant sur des calculs assez complexes et qui ne diffère pas sensiblement de celles déjà connues.

—— (20 avril 1899) : A. KOEPSEL. — *Essai d'un câble à haute tension de la maison Siemens et Halske.* — Il s'agit d'un câble de 450 mètres pour courant triphasé à 8.000 volts isolé au jute imprégné dans le vide. Les essais ont eu lieu à 12.000 volts : avant et après l'application de la haute tension, on mesurait l'isolement en mégohms après une minute d'électrification. Les chiffres trouvés ont été très variables suivant l'état du temps. De 800 à 1.300 mégohms en temps humide, ils s'élevaient

à 4 à 7.000 en temps sec. Depuis un an ce câble se comporte très bien en charge continuelle sous 2.000 volts.

—— (27 avril 1899) : M. KUBIRCHKY. — *Système à contact superficiel de la Compagnie Union.* — Cette Compagnie, qui exploite en Allemagne les procédés Thomson-Houston, vient de se livrer à une longue étude pratique du système à contact breveté par la General Electric Company et qu'elle estime avoir rendu complètement pratique. Ce système est analogue à celui de la Compagnie Westinghouse, dont il diffère seulement par les détails de construction. En outre, les appareils automatiques sont réunis par groupes dans des chambres souterraines, au lieu d'être disposés individuellement. Les pavés de contact sont bien étudiés et les relais sont très robustes. Les avantages caractéristiques du système sont les suivants : Montage du relai en série sur le courant principal; impossibilité d'une excitation intempestive par courant dérivé; indépendance complète des différents relais permettant un espacement quelconque des voitures; symétrie complète du fonctionnement dans les deux directions de marche; robustesse du mécanisme; suppression de tout danger d'électrisation permanente d'un plot; suppression des étincelles de rupture aux interrupteurs; visibilité et accès facile de tous les appareils; suppression de tous accessoires lourds et encombrants sous les voitures (sauf une petite batterie peu importante). Ce système fonctionne à Monaco; il a donné de bons résultats, même quand l'eau pénétrait dans les boîtes ou sur les rails. Les essais sur voies noyées ont donné de très bons résultats, les pertes ne dépassant pas 3 à 5 ampères par voiture avec 40 millimètres d'eau. Les essais d'isolement, pendant quelques mois, dans les conditions normales d'exploitation, ont montré que, même en temps de pluie ou de neige, l'isolement par plots s'abaisse rarement à 40.000 ohms pour le plot à haute tension et 10.000 pour le plot à basse tension.

—— (4 mai 1899) : *Frein électrique pour voitures d'attelage.* — La maison Kummer vient de construire des freins qui jouent à la fois le rôle de freins ordinaires et de freins automatiques. Dans les deux cas, les mêmes organes entrent en jeu. Le frein est un frein à bandes qui est mû à la main ou par un solénoïde alimenté par un courant de court circuit des moteurs

des automobiles voisines. En outre, un piston plongeur est maintenu dans un solénoïde par un courant dérivé, en cas de rupture d'attelage, qui interrompt le circuit ; le plongeur retombant agit par son poids sur un levier qui serre la bande.

— (11 et 18 mai 1899) : Max Schiemann. — *Canalisations aériennes de tramways électriques.* — L'auteur décrit quelques-uns des perfectionnements réalisés pendant les dix dernières années au point de vue de la construction des trolets, des fils, des attaches, des isolateurs, ancrages, poteaux, etc. Il reproduit quelques méthodes récentes proposées en Amérique pour les mesures d'isolation.

— (18 mai 1899) : *Projet d'un règlement pour installation électrique à moyenne tension.* — Le Syndicat des Electriciens allemands se propose de combler une lacune entre ses règlements pour la basse tension et pour la haute tension. Ce règlement s'applique aux installations entre 250 et 1.000 volts. Ces prescriptions sont beaucoup moins sévères que pour les hautes tensions ; par exemple, il admet les tableaux en bois pour des puissances inférieures à 10 kilowatts. L'isolation est admise comme moyen de sécurité dans bien des cas où, pour la haute tension, le seul moyen était la mise à la terre. Un paragraphe spécial est consacré aux installations électriques de tout ordre dans les voitures ; les fusibles sont réduits en nombre, mais rendus plus stricts comme précision.

L'isolement des lignes aériennes est fixé à 100.000 ohms par kilomètre de ligne simple en temps de pluie. Dans les installations intérieures, toute dérivation de n lampes doit avoir un isolement d'au moins : $10.000 + \frac{3.000.000}{n}$ ohms.

— (25 mai 1899) : F. Wilking. — *Automobiles électriques.* — Description avec figures de quelques voitures routières électriques de construction allemande, qui rentrent jusqu'ici dans la catégorie des poids lourds ; à signaler, en particulier, un omnibus électrique dont l'auteur donne quelques résultats d'essai.

— (22 juin 1899) : Gustave Braun. — *Le chemin de fer électrique de Düsseldorf à Krefeld.* — Depuis plusieurs années on a reconnu

la nécessité de réunir directement par un service à grande vitesse les deux grandes villes industrielles de Düsseldorf et de Krefeld. En décembre 1896, la Compagnie des chemins de fer rhénans mit au concours l'exploitation électrique de cette ligne, et l'adjudicataire fut la Compagnie Siemens et Halske de Berlin. On dut choisir la vitesse de 40 kilomètres à l'heure pour lutter avec la grande ligne de l'État, et renoncer, par suite, à emprunter les voies publiques et à pénétrer dans les localités habitées. La longueur totale de la ligne est de 22 kilomètres; la rampe la plus forte, 1/40; le rayon le plus faible, 20 mètres. Pour pouvoir raccorder, plus tard, la ligne aux tramways de Düsseldorf et de Krefeld, on choisit des courants continus à 500 volts. Les fils de trolet sont de 9 millimètres; le long de la ligne court un feeder de 100 millimètres carrés; la ligne est sectionnée tous les 7 à 800 mètres. L'espacement des poteaux est de 30 à 35 mètres. On a étudié spécialement les archets de contact en vue de cette grande vitesse; il y en a deux par voiture. Les grandes voitures motrices sont à cinquante places; elles sont montées sur bogies, portant chacun un moteur calé directement sur l'essieu sans engrenage. Les voitures d'attelage fermées sont à trente places dont seize assises; les voitures ouvertes à trente-six dont vingt-quatre assises. Après des essais qui ont permis d'atteindre jusqu'à 60 kilomètres de vitesse, la ligne a été inaugurée en décembre 1898. Les trains partent toutes les demi-heures; en outre, de petites voitures de tramways à deux moteurs de 20 chevaux desservent, toutes les six à dix minutes, les banlieues des deux villes.

—— (6 juillet 1899) : *Statistique des distributions d'électricité en Allemagne*. — Tableau très complet donnant la statistique des installations électriques en Allemagne au 1er mars. On constate encore un développement important par rapport aux installations précédentes : 114 installations nouvelles portent à 489 le nombre des installations; et 123 étaient, en outre, en construction, dont 15 ont été mises en exploitation depuis le mois de mars.

Dans un intéressant article de tête, les éditeurs passent en revue quelques-unes des conséquences à tirer de ces statistiques. Il en résulte que toutes les villes de plus de 100.000 habitants possèdent une station centrale; 73 0/0 des villes de 50

à 100.000 vont en être pourvues de même ; mais il reste un très large champ ouvert à un développement ultérieur pour les villes plus petites. Il y a également une tendance à établir dans les districts industriels des stations communes à plusieurs localités.

	1898	1899	ACCROISSEMENT 0/0
Courant continu.			
Nombre des installations.........	303	394	30,0
Puissance en kilowatts...........	69,966	92,656	32,4
Courant alternatif.			
Nombre des installations.........	29	33	13,8
Puissance en kilowatts...........	14,706	17,826	21,2
Courant polyphasé.			
Nombre des installations.........	23	33	43,5
Puissance en kilowatts...........	14,195	30,243	113,1
Courants polyphasé et continu.			
Nombre des installations.........	15	22	46,7
Puissance en kilowatts...........	11,537	25,970	125,1
Courants alternatif et continu.			
Nombre des installations.........	5	5	0
Puissance en kilowatts...........	1,134	1,011	— 10,9
Générateurs monocycliques.			
Nombre des installations.........		2	—
Puissance en kilowatts...........		614	—
Nombre total des installations....	375	489	
Puissance totale en kilowatts.....	111,539	168,320	

NATURE de la puissance motrice	NOMBRE des installations	PUISSANCE en kilowatts
Vapeur....................	290	111,422
Eau........................	55	14,425
Gaz.........................	21	1,609
Air comprimé.............	1	14
Mixtes.		
Eau et vapeur.............	103	17,201
Eau et gaz.................	4	231
Vapeur et gaz.............	2	118
Eau et pétrole.............	5	130
Eau et moteur électrique...	—	—
Divers.....................	7	
TOTAL.........	488	145,533

A.B.

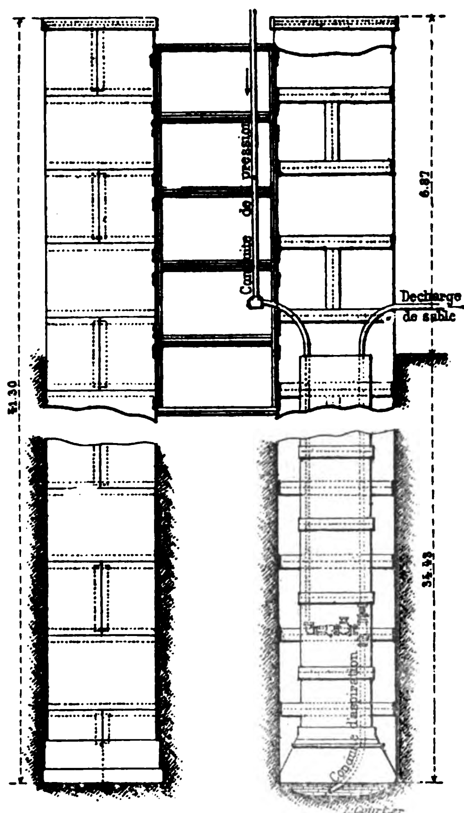
PÉRIODIQUES ANGLAIS.

II. — MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION.

Engineering News (2 février 1899) : *Drague « Clam Shell » employée aux travaux de Buffalo.* — Description, accompagnée de dessins, de cette drague dont l'excavateur a 7^{m3},640 de capacité et qui effectue 3.000 à 3.500 mètres cubes de déblais par jour dans des fonds de 20 mètres.

Engineering Record (8 avril 1899) : *Fondation de deux piles de pont sur la rivière Atchafalaya* (*Louisiane*). — Ces piles sont formées de deux cylindres d'acier de 2^{m},44 de diamètre, foncés à l'air comprimé jusqu'à 41^{m},30 de profondeur au-dessous de l'eau; le terrain se compose d'alluvions, d'argile ou de sable.

Chacun des deux cylindres comportait un second cylindre intérieur de 1m,52 de diamètre commençant au niveau du fond de la rivière et descendant jusqu'au bas de la fondation. La chambre de travail avait 7m,62 de hauteur, et le sas 3m,05. A



1m,22 et à 11m,88 au-dessus du tranchant du cylindre se trouvaient deux séries d'orifices par lesquels on pouvait injecter de l'eau comprimée, afin de diminuer le frottement latéral et faciliter le fonçage, la fermeture ou l'ouverture d'une partie des orifices permettant également de redresser le cylindre en cas de besoin.

Pour obtenir le fonçage, le sable était pompé dans la chambre de travail près du tranchant; la brigade de fond, composée de

trois hommes, sortait de la chambre, les jets d'eau comprimée fonctionnaient deux minutes environ et, en réduisant brusquement la pression aux 2/3 ou à la moitié de sa valeur, le mouvement de descente s'opérait.

On trouvait le plus souvent la chambre de travail remplie de déblai qu'il fallait évacuer, avant de recommencer une nouvelle opération. Le fonçage terminé, la chambre de travail a été remplie de sacs de béton placés à la main, et la partie supérieure de béton.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

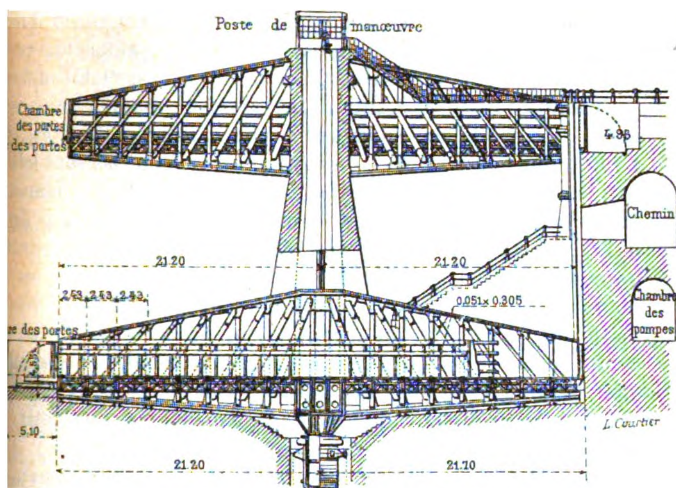
Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (1899, t. I) : Henry-Thomas White. — *Montage d'un viaduc en acier sur la « Highland Railway ».* — Le viaduc dont il s'agit franchit la vallée de la rivière Findhorn au moyen de huit travées de 39m,62 ; il repose sur des piles en granit dont la plus haute a 35m,96. Le montage, dont il est donné un compte rendu détaillé, a été effectué sur place au moyen d'un pont de service de 58m,82 de longueur lancé de proche en proche de façon à permettre successivement la construction des différentes travées.

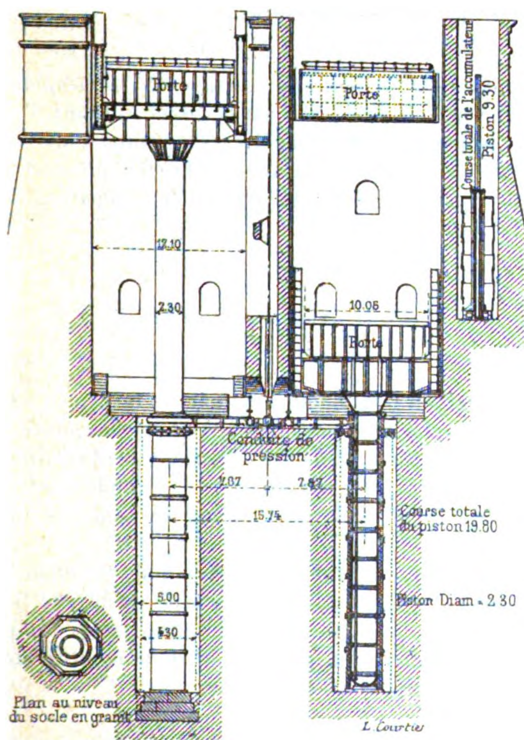
—— (1899, t. I) : F.-E. Robertson. — *Rupture du pont Embabeh au Caire.* — L'accident dont il est rendu compte est survenu à la travée tournante du pont Embabeh, quatre ans et demi environ après sa mise en service ; il est attribué à la qualité insuffisante du métal.

—— (1899, t. I) : R.-B. Sanden. — *Administration, entretien et prix des coutes de romté en Islande pour le régime des grands jurys irlandais.* — Étude de la façon dont le service des routes a été assuré en Islande par l'institution des grands jurys de 1836 jusqu'à 1895.

IV. — Navigation intérieure.

Engineering Record (29 avril 1899) : *Construction d'ascenseurs pour bateaux au Canada.* — On construit actuellement sur le canal de Trent à Pétersborough (Canada) deux ascenseurs pour bateaux. La hauteur à racheter est de 19m,81 ; les sas ont 42m,367


Poste de manœuvre
Chambre des portes
4.35
Chemin
21.20
21.20
2.53 2.53 2.53
0.051 x 0.305
Chambre des pompes
5.10
21.20
21.10
L. Courtier


Porte
Porte
Course totale de l'accumulateur
Piston 9.30
17.10
2.30
10.05
Porte
Conduite de pression
7.87
7.87
15.74
Course totale du piston 19.80
Piston Diam = 2.30
5.00
5.30
Plan au niveau du socle en granit
L. Courtier

de longueur, $10^{m},058$ de largeur et $2^{m},438$ de profondeur utile. Les portes du sas sont composées d'un seul vantail tournant autour d'un axe horizontal. Chacun des sas est établi au-dessous d'une presse hydraulique de $2^{m},28$ de diamètre en acier moulé. Le poids en mouvement pour chacun d'eux est de 1.800 tonnes environ. Les dispositions des deux sas sont telles que l'eau monte dans celui des deux sas qui est en communication avec le bief supérieur à un niveau plus élevé que dans le sas qui se trouve en communication avec le bief inférieur; on dispose ainsi d'un excès de poids qui est utilisé pour la manœuvre et qui devrait théoriquement être suffisant. Néanmoins on a, en outre, un accumulateur Armstrong où l'eau est comprimée à $42^{kg},52$ par centimètre par deux pompes à double effet, actionnées par des turbines.

Cet accumulateur commande également les appareils de manœuvre des portes et des cabestans.

On estime que la durée de la manœuvre pour un sassement n'excédera pas quinze minutes.

—— (13 mai 1899) : *Chute du barrage de Minneapolis.* — Le barrage en maçonnerie établi par la « Sant Anthony Talls water Power Company », à Minneapolis, s'est rompu sous l'action de la pression exercée par les glaces; la brèche qui s'est produite dans l'ouvrage a 51 mètres de largeur, et sa réparation est estimée à 125.000 francs.

V. — Travaux maritimes.

American Society of Civil Engineers (mars et mai 1899) : *Formes de radoub.* — Emploi de la maçonnerie et de la charpente. Une importante discussion a eu lieu à la Société des Ingénieurs américains, sur les avantages respectifs de l'emploi de la maçonnerie et de la charpente pour la construction des formes de radoub.

M. Cathcart insiste sur les avaries dont la forme en charpente sont susceptibles, et sur la sécurité qu'offrent les formes en maçonnerie. Il donne des renseignements complets sur les dépenses d'entretien dans un certain nombre de formes américaines, qui peuvent se résumer ainsi :

DÉSIGNATION DES FORMES	NOMBRE d'années d'usage	DÉPENSES d'entretien moyenne annuelle	OBSERVATIONS
Forme de Boston (maçonnerie).....	31 ans	10.000	
— de Norfolk —	15	6.250	
— de New-Island —	7	1.150	
Forme n° 2 de New-York (charpente).	10	1.400	Mais cette forme est aujourd'hui hors d'usage et on va dépenser 1.500.000 francs pour la remettre en état.
— de Lag-Island —	6	8.500	Les travaux de réparat. estimés à 320.000 fr. sont en exécution.
— de Norfolk —	8	8.500	On vient de décider pour 245.000 francs de réparation.
— de Port-Royal —	4	20.000	

Le commandant Melville compare le prix de premier établissement des formes en maçonnerie et en charpente; il indique que la différence du prix de revient n'est que de 25 0/0 et que l'augmentation de dépense entraînée par la maçonnerie est largement compensée par la sécurité et la durée de ce mode de construction.

M. Asserson fait valoir, en faveur des formes en charpente, l'avantage d'un profil plus évasé qui facilite l'aérage et l'éclairage du fond, la grande rapidité d'exécution et l'économie de premier établissement qu'il évalue à 35 0/0.

Il ressort de la discussion, dans laquelle beaucoup d'autres ingénieurs ont donné leur avis, que l'emploi de la maçonnerie offre de grands avantages pour la construction des formes de radoub, et que l'emploi de la charpente ne se justifie que soit de la part de sociétés privées, qui n'envisagent que des besoins de courte durée, soit dans le cas où il y a grande urgence à livrer l'ouvrage.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (1899, t. I) : L. Frangiès et G.-H. de Thierry. — *Régularisation des rivières; Travaux maritimes; Construction de canaux faits en Allemagne.* — Les auteurs donnent une description rapide des principaux travaux de navigation exécutés récemment en Allemagne, en s'arrêtant principalement à ceux qui peuvent être regardés comme caractéristiques.

Les travaux ainsi passés en revue sont : le port franc de Brême; régularisation du bas Weser; amélioration de l'es-

tuaire du Weser; extension du port de Bremshaven; port de Hambourg; port de Stettin; canal de la mer du Nord à la Baltique; canal de Dortmund à Ems; canal de l'Elbe à la Trave; amélioration de l'Oder; régularisation de l'estuaire de la Vistule. Deux planches de dessins accompagnent ce très intéressant mémoire, qui est le résumé des principaux ouvrages déjà publiés par ces deux auteurs.

Scientific American (4 mars 1899) : *Renflouement de navires échoués.* — Lorsque de grands navires échouent sur des bancs de terrain meuble, vase ou sable, on a quelquefois grand'peine à les remettre à flot, même en utilisant des remorqueurs de grande puissance. On a alors, dans deux cas récents, eu recours avec succès à l'emploi de dragues à succion qui ont permis d'enlever le terrain en dessous même de la quille et de remettre ainsi les navires à flot.

Ces deux exemples sont ceux du *Rossia*, grand croiseur de 12.000 tonnes de la Marine militaire russe, échoué dans la Neva, et du *Victorious*, cuirassé de la Marine anglaise, déplaçant 15.000 tonnes, échoué à 1.600 mètres des jetées de Port-Saïd, dans des fonds où la hauteur d'eau était inférieure de $0^m,55$ à son tirant d'eau. Pour ce dernier navire, l'emploi de la drague a permis, en moins de vingt-quatre heures, de le faire avancer de 400 mètres jusque dans des fonds suffisants pour qu'il y puisse flotter librement.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

American Society of Civil Engineers (avril 1899) : W.-W. Curbs. — *Conservation des traverses par les injections de chlorure de zinc.* — L'auteur passe en revue les différents procédés de préservation des traverses, appliqués par les principales compagnies américaines, et donne de nombreux chiffres indiquant les résultats obtenus.

Engineering News (18 mai 1899) : *Prolongement du chemin de fer de Long Island et tunnel sous l'East River.* — Un des travaux les plus importants actuellement projetés aux États-Unis consiste dans le prolongement du chemin de fer métropolitain de Brooklyn jusque dans l'île de Manhattan, ce qui exige le passage

en tunnel sous l'East River et éventuellement jusqu'à New-Jersey, en passant sous l'Hudson.

La description sommaire des travaux est accompagnée d'un certain nombre de dessins.

Scientific American (25 mars 1899) : *Voitures de places électriques en service à New-York.* — La première période d'exploitation des voitures de place électriques paraît avoir donné des résultats très satisfaisants, à New-York. Ces voitures, munies de moteurs Westinghouse de 4 chevaux, peuvent faire 48 kilomètres à la vitesse de 13 kilomètres à l'heure. A la fin de 1898, il y en avait soixante-deux en service ; ce nombre dépasse maintenant cent. L'expérience a montré que ces voitures pouvaient circuler en temps de neige, même lorsque les voitures à traction animale étaient déjà arrêtées.

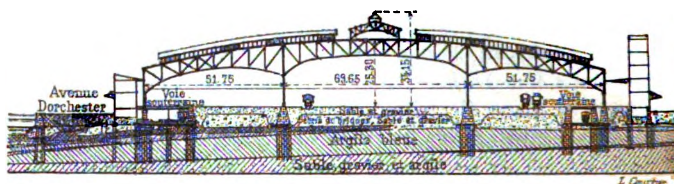
—— (15 avril 1899) : *Ouverture d'une section du White Pass and Yukon Railway.* — On vient d'ouvrir à l'exploitation une section du White Pass and Yukon Railway, qui part de Skagway pour accéder au Klondyke.

La section ouverte a 37 kilomètres de longueur et présente des rampes de 4 centimètres ; son point culminant est à la cote 858 mètres. Le matériel roulant comprend huit locomotives et dix-sept wagons dont dix à marchandises, et un fourgon de bagages.

Le travail exécuté a présenté les plus grandes difficultés par suite de l'éloignement du point de départ de toute ressource.

Street Railway Journal (mars 1899) : *Nouvelle station terminus au sud de Boston, et son effet sur les conditions du trafic dans le Massachusetts Oriental.* — La nouvelle station est le point de départ de nombreuses lignes de banlieue, qui desservent une contrée très habitée et où la population est très dense ; si la ville ne contient que 500.000 habitants, il y en a 2.500.000 dans un rayon de 80 kilomètres du centre de Boston. Le hall pour les trains a 184 mètres de longueur et 174 mètres de largeur ; il contient trente-deux voies avec des plates-formes pour voyageurs ; vingt-huit d'entre elles sont disposées en cul-de-sac, comme d'ordinaire ; les quatre autres, réservées aux trains de banlieue, se terminent par une partie circulaire de 80 mètres de rayon ; elles sont placées en souterrain au-dessous du niveau général de la station.

La gare peut contenir à la fois 25.000 voyageurs et desservir un mouvement journalier de 2.000 trains, dont 1.250 par les voies de banlieue.



Cette installation a pour but de permettre aux chemins de fer de disputer le trafic des voyageurs aux lignes de tramways électriques qui desservent actuellement une grande partie de la banlieue.

L'article est accompagné d'un certain nombre de plans généraux.

—— (Avril 1899) : *Tramways électriques de Bahia.* — Rapide description de la ligne de tramways qui vient d'être construite à Bahia; cette ligne, longue de 12 kilomètres et demi, dessert la ville basse parallèlement à la mer; la force motrice est fournie par une station centrale comprenant deux machines de 150 et 180 chevaux; les voitures à trolet sont au nombre de douze avec moteur de 19 et 15 chevaux. Une troisième machine et six voitures nouvelles seront bientôt installées.

—— (Avril 1899) : *Charrue à neige.* — Cette charrue est construite en charpente protégée par des plaques d'acier de 3 millimètres. Elle porte un lest de 13.200 kilogrammes et est actionnée par quatre moteurs de 35 chevaux. Elle peut facilement ouvrir une voie dans une couche de neige de $1^{m},50$ à 2 mètres.

—— (Mai 1899) : *Étude sur l'exploitation d'une ligne interurbaine.* — La ligne qui fait l'objet de cette étude est une ligne de $29^{km},600$, exploitée par la Lorain and Cleveland Company, entre Rocky River et Lorain; elle est à trolet et à simple voie avec garages. Les voitures pèsent 2.400 kilogrammes et sont munies de quatre moteurs de 50 chevaux.

Les voitures parcourent, en moyenne, 544 kilomètres, dont 384 sur les voies de la ligne en question. La consommation moyenne d'électricité est de 140 ampères à 565 volts.

Une expérience de vitesse a permis à ces voitures d'atteindre une vitesse maxima de 88 kilomètres à l'heure.

Pendant une semaine d'hiver, la circulation moyenne correspond à 1.152 voitures kilométriques, avec une consommation de 3,08 kilowatts-heure par voiture et de 4^{kg},900 de charbon.

L'article est accompagné d'un certain nombre de vues relatives à la station centrale de force et de diagrammes, montrant comment varie avec la charge la consommation de charbon.

—— (Mai 1899) : *Importante ligne électrique interurbaine dans le Missouri meridional.* — La ligne dont la description est donnée a 56 kilomètres de longueur et dessert entre Calena et Carthage quatre ou cinq centres miniers dont la population atteint 60.000 habitants. Il y a deux stations de force motrice comprenant chacune trois machines de 150 chevaux.

On fait sur la ligne un service omnibus à la vitesse de 23 kilomètres à l'heure et un service express à la vitesse de 32 kilomètres. La voie est simple, et la circulation est réglée par un conducteur qui donne les ordres par téléphone.

On n'accepte que les bagages pouvant tenir sur la plate-forme de la voiture.

Engineering Record (1er avril 1899) : *Locomotives routières.* — La « O.-S. Kelly Company » vient de mettre en service des locomotives routières de 120 chevaux de force. La chaudière est du type locomotive, la pression est de 12^{kg},658 par centimètre carré. La provision de charbon est de 1 tonne, et la provision d'eau de 2^{m3},70. La force de traction développée à la vitesse de 6 kilomètres à l'heure est de 544.

En pratique, ces locomotives peuvent remorquer sur une route ordinaire, dont les pentes ne dépassent pas 0^{m},05, un poids utile de 30 tonnes à une distance de 48 kilomètres par jour.

Railway Engineer (avril 1899) : *Agrandissement des installations du Great Central Railway.* — Courte description et plan des trois principales stations nouvelles du Great Central Railway, station de Maryleborne terminus à Londres, de Leicester et de Nottingham.

—— (Avril 1899) : *Chemins de fer de l'Australie occidentale en 1897-1898.* — L'extrait, qui est donné du rapport du directeur,

fait connaître les principaux résultats de l'exploitation de ce réseau en 1897-1898. On peut les résumer ainsi :

La longueur du réseau est de 1.596 kilomètres; le coût de premier établissement s'est élevé à 79.750 francs par kilomètre. Les recettes brutes ont été de 16.411 francs par kilomètre, et les dépenses d'exploitation ont atteint 77,11 0/0 de ces recettes, soit 12.650 francs par kilomètre. Le revenu net du capital engagé ressort à 4,62 0/0.

—— (Juin 1899) : *Chemin de fer Natal-Zululand.* — Cette nouvelle ligne, commencée en juin 1896, a été ouverte en décembre 1898 elle part de Vérulam, à 31 kilomètres de Durban, pour aboutir à Bond's Drift; elle a 80 kilomètres. Les rampes maxima sont de $0^{m},033$ et occupent 11,23 0/0 du développement de la ligne; les courbes minima ont 90 mètres de rayon et se rencontrent sur 3,49 0/0 de la longueur de la ligne. Les principaux ouvrages d'art consistent en huit ponts, dont le plus grand comporte vingt et une travées de $12^{m},20$ de portée; les piles sont composées de cylindres de fonte remplis de béton. En dehors des ponts jetés sur des rivières, on a exécuté trois petits ponts sur torrents et 290 aqueducs d'une ouverture variant entre $0^{m},60$ et $2^{m},40$. La plupart de ces aqueducs sont faits avec une cuvette en béton recouverte de vieux rails. La voie est avec rails de $20^{kg},411$.

La ligne comporte trois stations, six haltes et une gare terminus.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Engineering News (30 mars 1899) : ***Machines à gazoline pour l'usine élévatoire de Toms River.*** — On commence à utiliser les machines à gazoline comme machines motrices des usines élévatoires de moyenne importance; une installation de cette nature vient d'être faite par la Toms River Cy; elle comprend deux machines de 20 chevaux actionnant deux pompes Gould. La dépense d'installation a été de 23.062 fr. 12. Le prix de revient d'exploitation est de 0 fr.25 par mètre cube monté à 10 mètres.

Engineering Record (11 mars 1899) : ***Consommation d'eau à New-York et à Brooklyn.*** — La consommation de l'eau s'accroît à New-York et à Brooklyn dans des proportions beaucoup plus

rapides que l'augmentation de la population. A New-York, en 1870, la population était de 1 million d'habitants avec une consommation journalière de 350 litres par tête; en 1898, la population est de près de 2 millions d'habitants, et la consommation journalière atteint 540 litres par tête. Si la population et la consommation continuent à s'accroître dans les mêmes proportions, on peut estimer qu'en 1902 l'alimentation de 1.272.000 mètres cubes qu'assure le réservoir de Croton deviendra insuffisante.

A Brooklyn, la consommation est moindre et ne dépasse pas encore 359 litres par tête et par jour; les ressources actuelles en eau suffisent jusqu'en 1906.

—— (25 mars 1899) : *Traitement chimique des eaux usées à Brooklyn.* — La nouvelle usine élevée à Brooklyn pour le traitement chimique des eaux usées fonctionne depuis un an. On additionne d'abord ces eaux de lait de chaux à raison de un baril de chaux pour 903 mètres cubes d'eau, puis de perchlorure de fer à raison de 1 kilogramme par 32 mètres cubes d'eau. Enfin on termine en envoyant dans le liquide du chlore; le gaz fabriqué dans l'usine arrive, sous une pression de 30 centimètres, à la partie basse des réservoirs où les eaux ont au moins une hauteur de $0^{m},90$.

Pour la fabrication du chlore on use 98 kilogrammes d'acide sulfurique, 43 kilogrammes d'oxyde de manganèse et 58 kilogrammes de sel pour 18.000 mètres cubes d'eau usée.

Les eaux entièrement purifiées et claires sont rejetées dans la baie de la Jamaïque par deux machines Worthington à triple expansion.

Chacune de ces machines peut relever 45.430 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

Le prix de premier établissement de l'usine a été de 1.250.000 francs; les dépenses annuelles s'élèvent à 150.000 ou 160.000 francs. L'usine dessert une superficie de 1.295 hectares 04, habitée par 52.000 habitants. Elle traite 18.172 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures et peut en traiter plus de 22.715 mètres cubes.

La longueur des égouts qui desservent l'usine dépasse 100 kilomètres; leur coût a été de 9.860.000 francs.

H. D.

IX. — ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE.

The Electrician (21 avril 1899) : *Compte rendu financier des stations d'électricité.*

—— (21 avril 1899) : *Grandes machines Willans.* — Courte description de la première des machines de 1.000 chevaux que construit la maison Willans and Robinson pour les tramways de Liverpool. L'article donne seulement des photographies de ces belles machines compound à trois cylindres et renvoie à la description plus détaillée dans le numéro du 8 avril 1898.

—— (28 avril 1899) : *Stations municipales d'électricité de Bootle.* — Description détaillée avec dessins d'une station centrale récemment inaugurée dans une ville de 53.000 habitants. Le système employé est la distribution à trois fils, à 220 volts, avec batterie d'égalisation. Aucune particularité technique plus remarquable. L'éclairage public est fait en partie par des lampes à arc, en partie par des lampes à incandescence munies de réflecteurs Frédureau ; le système Wright est employé pour la tarification.

—— (19 mai 1899) : P.-V. Mac-Mahon. — *Locomotives électriques et résistance à la traction dans les tunnels.* — Ce mémoire, lu à la Société des Électriciens de Londres, contient les résultats de deux années d'expériences sur les trains du City and South London Railway. La première série d'observations a eu pour objet de voir l'effet d'une variation du courant de démarrage sur l'accélération du train et tend à montrer que la valeur de ce courant n'influe pas beaucoup dans de larges limites sur la durée du parcours d'une section ni sur l'énergie totale prise à la ligne. Ces conclusions ne s'appliquent malheureusement qu'à des moteurs en série avec régulation par rhéostat. D'autres essais ont été faits pour déterminer la nature et la valeur des pertes dans les moteurs des locomotives et ont conduit à modifier la construction des moteurs en doublant la longueur de l'armature. On a ainsi gagné une économie d'énergie d'un tiers et une abréviation d'une seconde et demie sur le parcours entre stations. Les premières locomotives étaient réglées par rhéostat. Dans les nouvelles on emploie la méthode « séries parallèles » combinées avec le shuntage croissant des inducteurs.

Le mémoire contient un très grand nombre de résultats et de courbes qu'il serait trop long d'analyser en détail ; la conclusion est, en définitive, que la réduction de la consommation spécifique par une rapide accélération est souvent illusoire, par suite de l'augmentation de la puissance nécessaire pour les machines et de leur utilisation moins économique.

Il convient de signaler aussi les chiffres que donne l'auteur au sujet du coefficient de traction dans un tunnel. La section droite de la locomotive est d'environ 50 0/0 de celle du tunnel, et le poids du train vide est de 20 tonnes. La résistance de démarrage est de 18 kilogrammes par tonne faute de graissage; elle s'abaisse à 9 kilogrammes à 3 km : h., puis elle atteint 5,9 à 6,4 km : h.; 4,5 à 9,5 km : h.; 4 à 13,5 km : h. jusqu'à 16 km : h. ; puis elle remonte à 4,5 pour 21 km : h.; 5,5 pour 25 km : h. ; 7 pour 32 kilomètres; 8,8 pour 39 kilomètres et 10 pour 42 kilomètres. La vitesse maxima sur cette ligne est de 40 km : h.

M. Mac-Mahon a fait également quelques mesures sur les résistances en courbes. Sur une courbe de 118 mètres de rayon, à la vitesse 26,5 km : h., l'augmentation de résistance due à la courbe est de $6^{kg},2$; sur une autre courbe de 165 mètres, à la vitesse de 21,7 km : h., l'augmentation est de $5^{kg},05$.

—— (26 mai 1899) : S. Sherman. — *Chemin de fer électrique à trois phases de Chicago à Milwaukee.* — L'ancienne ligne de Chicago à Milwaukee, construite il y a trois ans, a été la première à employer le transport à haute tension par courant triphasé alimentant les sous-stations de transformations en courants continus; celles-ci étaient au nombre de deux, et la tension était de 5.500 volts. On transforme cette ligne en un chemin de fer à grande vitesse dont la longueur totale, avec ses deux prolongements, atteindra environ 110 kilomètres. L'usine génératrice, placée vers le milieu de la ligne, est à vapeur. Le matériel comprend deux types de générateurs : l'un, à courant triphasé, directement couplé, à 5.500 volts 25 périodes ; l'autre, une dynamo-omnibus pouvant donner du courant continu à 600 volts ou du courant alternatif qu'on élève par des transformateurs; les convertisseurs des deux sous-stations sont du même type.

Dans le nouvel arrangement on doublera l'équipement de la ligne, on reconstruira les bâtiments des deux sous-stations

et on ajoutera dans ces trois centres de distribution des batteries d'accumulateurs destinées à unifier la charge.

—— (16 juin 1899) : *Automobiles du système Riker.* — Courte description, avec photographies, de ces voitures construites aux États-Unis.

—— (2 juin 1899) : *Distribution électrique municipale de Barking et de Watford.* — Descriptions avec plans et figures de deux distributions récentes dans deux petites villes anglaises (Watford, 30.000 habitants). A Barking, la distribution a lieu à courant continu à basse tension et ne présente aucune particularité intéressante. A Watford, au contraire, la station étant assez éloignée de la ville, par suite de convenances locales, on a dû adopter le système à courants alternatifs; il y a deux unités de 150 kilowatts et une de 30, formées d'une machine à grande vitesse de Raworth, accouplée directement à un alternateur Mordey à fer tournant. La distribution est faite par câble souterrain à 2.000 volts; elle est abaissée à 400 volts pour l'éclairage public et 200 volts pour l'éclairage privé, par des transformateurs placés sous la chaussée.

A. B.

X. — Architecture.

Engineering Record (15 et 22 avril 1899) : *Hôpital de Massillon.* — L'État de l'Ohio vient de créer un nouvel hôpital à Massillon. Un terrain de 121 hectares lui est affecté. Le nombre des bâtiments à édifier est d'environ 30 et comprend deux hôpitaux proprement dits pour 140 malades chacun, deux infirmeries pour 140 malades chacun, seize chalets aménagés pour 50 à 70 malades chacune, et enfin les différents bâtiments de service. Une partie seulement des installations est actuellement terminée. La description de ce bel établissement est accompagnée de nombreux plans et vues qui en définissent les dispositions.

—— (20 mai 1899) : *Nouvelle bibliothèque de Jersey-City.* — Description sommaire, vue et plans de cet édifice, qui occupe une surface de 1.050 mètres carrés.

H. D.

PÉRIODIQUES BELGES.

I. — SCIENCES APPLIQUÉES.

Annales des Travaux publics de Belgique (décembre 1898) : F. FANARD. — *La photogrammétrie.* — La photogrammétrie a pour but d'obtenir, par les photographies, des perspectives *exactes* soumises à des lois géométriques connues, qui permettent de mesurer les dimensions des objets qui y figurent. Elle a été inventée, en 1850, par M. le colonel Laussedat. Plus tard elle s'est beaucoup développée, tant en France que dans les pays voisins. L'auteur, après en avoir fait sommairement l'histoire, en expose les principes, les méthodes, et donne la résolution de divers problèmes usuels.

—— (Décembre 1898) : F. KEELHOFF. — *Expériences sur le mouvement de l'eau dans les canaux rectangulaires alimentés par une vanne.* — Tant que la vanne, modérément relevée, n'est pas noyée par l'eau du bief d'aval, le débit donné par le calcul est, à peu de chose près, le même que celui résultant de mesures directes. Mais, si la vanne est noyée, ces deux débits diffèrent totalement l'un de l'autre. C'est que, dans ce cas, la formule théorique n'est plus applicable. L'auteur en propose une nouvelle et relate les expériences qu'il a faites pour la vérifier.

—— (Février 1899) : E. HAERENS. — *Résolution de deux questions sur le mouvement varié des eaux (propagation d'une crue et d'une marée fluviale).* — L'auteur, ayant déterminé les équations aux différences finies du mouvement varié et du débit, donne les calculs nécessaires à la résolution, pour des cas déterminés, des deux problèmes qu'il s'est posés.

III. — ROUTES, PONTS ET VIADUCS.

Annales des Travaux publics de Belgique (avril 1899) : Ch. PIENS. — *Le pont tournant de Dudzeele sur le canal maritime de Bruges.* — Le canal mesure 22 mètres au plafond et 70 mètres à fleur

d'eau. Le tablier du pont, construit en acier, se compose : au-dessus du talus ouest, d'une travée fixe ; au-dessus du plafond et du talus est, d'une travée tournante de 50 mètres à deux volées égales, laissant à la navigation un espace libre de 22 mètres, de même largeur que le plafond. La largeur du pont est de $4^m,80$ avec une voie charretière de $2^m,50$ entre deux trottoirs de $1^m,15$. La dépense, fondations et double maison pontière comprises, s'est élevée à 180.000 francs.

La notice de M. Ch. Piens est suivie d'une note de M. Paul Christophe ayant pour objet la vérification expérimentale de la stabilité du pont de Dudzeele.

IV. — Navigation intérieure.

Annales des Travaux publics de Belgique (avril 1899) : Grenier. — *La consolidation des talus. — Essai de revêtement « Villa » fait à Welden, sur la rive droite de l'Escaut.* — Le revêtement Villa, dont il a déjà été question dans les *Comptes rendus des Annales*, est un véritable tapis formé de bandes de 2 mètres de largeur, qui se composent de prismes en terre cuite ou en béton de ciment, mesurant $0^m,25$ de hauteur, $0^m,25$ de largeur et $0^m,165$ d'épaisseur. Ces prismes, percés de deux trous dans le sens de la hauteur, sont traversés par des fils en fer galvanisé de 3 à 4 millimètres de diamètre, liés l'un à l'autre par des fils de fer transversaux. Le tapis ainsi constitué est assez souple pour s'adapter aux formes du lit d'un cours d'eau et d'une texture assez serrée pour empêcher les affouillements. L'essai fait à Welden, dans les conditions les plus défavorables, a bien réussi. La dépense a été de 7 francs le mètre carré.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer (avril 1899) : P.-H. Dudley. — *L'emploi du Stremmatographe de Dudley pour la détermination des efforts dans les rails sous les trains en marche* (*communication faite à l'Académie des Sciences de New-York, le 7 février* 1898). — L'auteur rappelle ses expériences antérieures et rend compte de celles qu'il a récemment faites pour déterminer les efforts de tension et de compression produits dans les rails par les passages des trains sur différentes lignes de chemins de fer.

—— (avril 1899) : *Note sur la situation des mécaniciens et chauffeurs publiée par l'Administration des chemins de fer de l'Est français.* — Cette note rend compte, pour les mécaniciens et les chauffeurs, des conditions du recrutement et de l'avancement; de la situation pécuniaire (émoluments et retraites, avantages divers); de la durée du travail et du repos. Elle démontre : 1° que le mécanicien est un privilégié parmi les travailleurs et que la situation pécuniaire tient équitablement compte des responsabilités qu'il assume (ses appointements sont équivalents et souvent supérieurs à ceux des capitaines de l'armée); 2° que le mécanicien n'est pas surmené. La durée moyenne du travail journalier, non compris les grands repos décadaires d'environ 30 heures, varie entre 8 h. 12 dont 5 h. 15 sur la machine, pour les trains de vitesse, et 10 heures, dont 7 h. 28 sur la machine, pour les trains de marchandises.

—— (Mai 1899) : M. Goss. — *La résistance de l'atmosphère au mouvement des trains.* — M. le professeur Solbert, du laboratoire de l'Université de Purdue, a expérimenté en petit, dans un conduit carré de 508 × 508 millimètres de section et de 18^{m},288 de longueur, l'action d'un courant d'air d'une vitesse déterminée et de régime constant sur un ou plusieurs simulacres de véhicules mesurant 307 millimètres de longueur, 86 millimètres de largeur et 115 millimètres de hauteur. Les expériences, très soigneusement faites et souvent répétées, ont donné des résultats concordants. En appelant P l'effort en livres par pied carré, et v la vitesse du courant d'air en milles à l'heure, on trouve :

Pour un véhicule unique...........	$P_1 = 0{,}0012v^2$
Pour le premier véhicule d'un train.	$P_p = 0{,}001v^2$
Pour le dernier —	$P_d = 0{,}00026v^2$
Pour le second —	$P_s = 0{,}00008v^2$
Pour chaque véhicule intermédiaire entre le second et le dernier	$P_i = 0{,}0001v^2$

—— (Juin 1899) : J. Philippe. — *Attelage automatique des wagons à marchandises.* — De l'autre côté de l'Atlantique, les wagons à marchandises du type anglais, à deux essieux et à appareil d'attelage par tendeur à vis et à tampons élastiques, sont abandonnés depuis longtemps. Les Américains se sont de bonne heure hardiment lancés dans la voie de la construction des wagons de grande longueur et de grande capacité, montés sur

deux bogies et munis de l'attelage central réunissant en un seul appareil les organes de traction et de choc. Et le système d'attelage dans lequel les véhicules venant en contact s'accrochent automatiquement se substitue rapidement à l'ancien type dit « par anneau et boulon ». L'auteur donne la description du type usuel de l'attelage automatique américain.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Annales des Travaux publics de Belgique (février et avril 1899) : M. N. Kümmer. — *Essais sur les travaux de fascinages et la construction des lignes, ou description du réendiguement des polders du bas Escaut belge.* — Le chapitre I de ce mémoire, qui a trait à l'historique des polders, a paru dans le tome II, 1re série, des *Annales des Travaux publics.*

Le chapitre II se divise en deux sections : la première contient la momenclature des principaux fascinages et la description des ouvrages, revêtements, radiers, risbermes, plates-formes, etc., exécutés en fascines; la deuxième section traite des digues, de leur tracé, de leur profil et de leur structure, et de l'évacuation des eaux.

Le chapitre III traite de l'inondation des polders à la suite des événements de 1830, des ouvrages exécutés pour y mettre un terme et des travaux opérés aux digues de l'Escaut pendant le siège de la citadelle d'Anvers.

Le chapitre IV a pour sujet les travaux préparatoires et définitifs du premier réendiguement du polder de Borgerweert. Cet important mémoire est accompagné de vingt-quatre planches, très soigneusement exécutées.

F. D.

PÉRIODIQUES HOLLANDAIS

Par M. VAN YSSELSTEYN, Ingénieur, Sous-Directeur des travaux de la ville de Rotterdam.

I. — Sciences appliquées.

Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs (année 1898-1899, livraison II) : *La capacité économique des conduites d'eau.* — Pour dresser le projet d'une alimentation hydraulique, il est d'une grande importance de fixer la capacité des conduites principales. Si l'on choisit des conduites d'un grand diamètre, la perte de pression sera petite, et l'on pourra économiser sur la force motrice de l'usine. Si l'on préfère des tuyaux de plus petite dimension, l'usine devra être plus puissante, et par conséquent plus coûteuse. Il s'entend que, pour chaque problème, une certaine capacité des conduites sera la plus économique.

L'auteur donne, après des calculs très intéressants, des formules et des diagrammes, qui permettent de déterminer le diamètre le plus économique des conduites, pour chaque cas, étant données la quantité d'eau, la longueur des conduites, etc.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Ingénieur (année 1898, livraisons 26 et 27; année 1899; livraisons 12 et 16) : G.-W. Heukcelom, ingénieur de la Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer néerlandais. — *L'emploi des tôles ondulées galvanisées pour des halles de gare.* — L'auteur donne de nombreux exemples, qui prouvent que les couvertures de ces halles, en tôle ondulée, doivent être renouvelées fréquemment. Une durée de huit ans pour ces tôles galvanisées est une exception. Des voyages en Allemagne et en Autriche, dans le but d'étudier ces constructions de gares, lui donnent l'occasion de citer des exemples fort intéressants. L'expérience de la Hollande a montré que des tôles ondulées, qui ne sont pas galvanisées, mais couvertes d'une couche de minium, ont une durée beaucoup plus longue.

Il existe des halles de gares, qui datent de 1868, dont les

tôles n'ont pas encore été renouvelées. Il convient d'ajouter, cependant, que les frais d'entretien de ces tôles peintes sont assez grands. L'emploi des tôles galvanisées pour les halles de gares est absolument condamné par l'auteur ; l'action de la vapeur et de la fumée semble être funeste pour la mince couche de zinc qui recouvre les tôles. L'auteur recommande en général une couverture de planches en bois, sur lesquelles reposent des tôles de zinc.

III. — Routes. — Ponts et viaducs.

Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs (année 1898-1899, livraison II) : F.-J. des Tombe. — *Le pont sur l'Yssel à Westervort près d'Arnheim.* — Description du nouveau pont pour chemin de fer, dont les travaux seront terminés en 1900.

L'ouvrage est destiné à remplacer un pont construit en 1856, qui est trop faible pour le trafic actuel.

Le nouveau pont se compose d'une grande travée de 113 mètres, six travées de 40 mètres et un viaduc en maçonnerie avec deux voûtes de 20 mètres chacune.

Deux des piles sont établies sur des caissons pneumatiques, les autres sur des fondations en béton, reposant sur des pilotis.

V. — Travaux maritimes.

Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs (année 1898-1899, livraison I) : J. Krauss. — *La forme de radoub de Falcahuano* (*Chili*). — Description d'une forme de radoub construite pour le compte du Gouvernement du Chili, sur un banc rocheux dans le golfe de Falcahuano. Les entrepreneurs avaient à leur disposition deux caissons pneumatiques. Chaque caisson avait une longueur de 21 mètres sur 6m,50 de largeur; la chambre de travail avait une hauteur de 2 mètres. La cale sèche a des dimensions extérieures de 200 mètres sur 31 mètres, une hauteur totale de 15 mètres, dont plus de 9 mètres au-dessous de la basse mer. On a exécuté la construction en un grand nombre de parties distinctes. La méthode pour rendre étanches toutes les jonctions et les mesures adoptées pour éviter les filtrations ont été couronnées de succès; résultat d'autant plus remarquable que la cale sèche est bâtie en pleine mer.

II. — Génie rural. — Assainissement.— Distribution d'eau.

[Bul]letin de l'Institut royal des Ingénieurs : M. C.-L.-M. Lambrechtsen de Ritthem, directeur des Travaux publics de la [v]ille d'Amsterdam, a donné, dans la séance de l'Institut du 4 février 1899, une description des nouveaux projets pour l'*assainissement de la capitale.*

L'ancienne partie d'Amsterdam est bâtie sur les bords de canaux (« grachten » en hollandais), dans lesquels se déversent les égouts.

Tout ce système assez compliqué de canaux peut être assaini en y faisant entrer les eaux du Zuiderzée et en déchargeant ensuite ces canaux dans le canal d'Ymuiden, dont le niveau est, en temps ordinaire, de $0^{m},20$ à $0^{m},45$ plus bas que celui du Zuiderzée.

Ce moyen d'assainir est très insuffisant, non seulement parce que la quantité d'eau qu'on peut faire entrer est trop petite, mais aussi parce que cette faible différence de niveau disparaît, quand le vent n'est pas favorable, ou quand le canal d'Ymuiden a son niveau plus élevé que d'ordinaire.

Depuis un certain nombre d'années on a compris qu'il était nécessaire de restreindre le volume de matières fécales qui se déchargent dans les canaux.

On avait donc adopté, en 1879, le système Liernur, pour une partie de la ville.

Amsterdam étant, jusqu'à ce moment, la seule ville où ce système ait été appliqué, il est du plus grand intérêt d'en connaître les résultats financiers et techniques donnés par M. Lambrechtsen.

Quatre-vingt-cinq mille habitants sont aujourd'hui desservis par les tuyaux pneumatiques de ce système, qui se déchargent dans l'usine centrale. Les matières fécales provenant de soixante-six mille habitants ne sont pas transportées directement vers cette usine, mais sont rassemblées dans de grands réservoirs en fer, qui se trouvent au-dessus du sol. Ces réservoirs sont vidés chaque jour par des locomobiles pneumatiques, qui en versent le contenu dans des barques qui transportent les matières fécales à l'usine centrale.

Toutes les eaux de ménage de ces 151.000 habitants se déchargent dans les canaux ouverts, de même que la plus

grande partie des matières fécales de plus de 200.000 habitants, qui ne sont pas desservis par le système Liernur.

L'auteur est d'avis qu'il ne serait pas justifié de donner une extension à ce système, qui s'applique exclusivement aux matières fécales, tandis que les eaux de ménage, qui ne sont pas moins dangereuses au point de vue hygiénique, sont absolument négligées. La quantité des matières fécales traitées par l'usine Liernur est, par conséquent, très petite. Les 85.000 habitants, par exemple, qui sont desservis directement, ne donnent pas plus de 1.892 mètres cubes par semaine. On traite ces matières d'abord par la chaux et ensuite par l'acide sulfurique. Le produit est vendu comme engrais artificiel. Les résultats financiers ne sont pas favorables. L'installation coûte environ 30 francs par habitant, et les frais d'exploitation ne sont pas couverts par la vente des produits de l'usine.

Selon l'auteur, l'assainissement de la ville ne pourrait être obtenu que par l'interdiction absolue de faire couler les eaux de ménage et les matières fécales dans les eaux publiques. Les eaux pluviales seules devraient être admises dans ces canaux. Mais, comme une application rigoureuse de ce système serait beaucoup trop coûteuse, l'auteur ne désire, pour le moment, cette interdiction que pour les quartiers neufs de la ville qui ne sont pas encore desservis par le système Liernur et pour toutes les nouvelles extensions de la ville (l'augmentation annuelle du nombre d'habitants d'Amsterdam est environ 10.000 sur une population actuelle de plus de 500.000).

Pour ces quartiers, l'auteur propose le système Waring. Dans les égouts sont reçues les eaux de ménage et les matières fécales, tandis que les eaux pluviales se déchargeront directement dans les canaux.

Les égouts assez étroits du système Waring aboutiraient dans de grands bassins souterrains, d'où l'on extrairait les matières à l'aide de grandes machines à vapeur qui les refouleraient par de grosses conduites soit vers la mer du Nord, soit vers le Zuiderzée. Si l'on choisissait la mer du Nord, ces conduites auraient une longueur de 28 kilomètres, tandis que la distance vers le Zuiderzée n'est que de 3 kilomètres.

Quatre usines élévatoires, chacune d'une force de 250 à 300 chevaux, seraient nécessaires, si le système Waring était adopté dans tous les quartiers neufs de la ville.

VIII. — MACHINES.

Ingénieur (année 1898, n° 40) : *Machine électrique à pilotis.* — Cette machine est construite dans les ateliers de MM. Fige frères, à Harlem. L'engin peut être d'une grande utilité, surtout en Hollande, où tous les travaux importants reposent sur des pilotis.

La machine peut donner vingt-deux coups par minute avec un marteau du poids de 500 kilogrammes. Tout l'engin ne pèse que 4.000 kilogrammes, tandis qu'une telle machine, mue par la vapeur, a un poids de 6.000 kilogrammes.

—— (Année 1899, livraisons 5 et 7) : J.-C. DYXHOORN. — *L'aspiration des pompes quand elles sont mises en mouvement.* — L'auteur donne, après des calculs très intéressants, des formules qui permettent de déterminer jusqu'à quelle hauteur une certaine pompe peut aspirer l'eau, par le seul mouvement du piston. Des moyens très simples sont donnés pour accroître cette hauteur d'aspiration.

V. Y.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

N° 32

OUVRAGES ALLEMANDS.

I. — Sciences appliquées.

Randermann (J.). — Nautische Tafeln m. Gebrauchs. Anweisungen u. Beispielen in deutscher u. englischer Sprache, berechnet u. entworfen v. R. Lex. 8°. (XXXVIII, 78 S. m. Fig.) Bremerhaven, L. v. Vangerow. Geb. in Leinw. N. 7.

Tables nautiques. — Exemples en allemand et en anglais.

Ritter (Geh. Reg.-R. Prof. Dr. Aug.). — Lehrbuch der höheren Mechanik. 3. Aufl. 2 Thle. gr. 8°. L., Baumgärtner, n. 24; — Einbde. in Halbfrz. à n. 2.-1. Analytische Mechanik (XIV, 314 S. m. 224 Textfig.), n. 8; — 2. Ingenieur-Mechanik (XV, 653 S. m. 612 Textfig.). N. 16.

Traité de mécanique supérieure.

Weber (Ingen. W.). — Graphische Tafeln zur Bestimmung der Tragfähigkeit gusseiserner u. schmiedeeiserner Säulen u. Träger. qu. gr. Fol. (6 Taf. u. 9 S. Text in Lex. 8° m. 2 Fig. Berlin, J. Springer. In Mappe, N. 6.

Tables graphiques pour la détermination de la résistance des poutres et des colonnes en fer et en fonte.

Weisbach (Weil. Ob.-Bergr. Prof. Dr.-Jul.). — Lehrbuch der Ingenieur-und Maschinen-Mechanik. 3. Thl.: Die Mechanik der Zwischen u. Arbeitsmaschinen. 2. Aufl. v. Geh. Reg.-R. Prof. Gust. Herrmann. 3. Abth. Die Maschinen zur Formveränderung. 17-19. Lfg. gr. 8°. (S. 1549-1864 m. Holzst.) Braunschweig, J. Vieweg und Sohn. N. 8,50.

Traité de mécanique.

II. — **Matériaux et Procédés généraux de construction.**

Bayer (Archit. Stadtbaumstr. Alfr.). — Berechnung v. Hochbau-Constructionen in Eisen, Stein u. Holz. 2. (Titel-) Aufl. gr. 8°. (III, 92 S. m. Fig.) Wien (1896), C. Graeser. N. 2.

Calcul des constructions en fer, en pierre et en bois.

Beck (L.). — Gesch. d. Eisens. 4. Abtlg. 5. Lfg. Brnschw., Vieweg. N. 5.

L'histoire du fer.

Büsing (Doz. Prof. F.-W.) et Chem. Dr. C. Schumann. — Der Portland-Cement u. seine Anwendungen im Bauwesen. 2. Aufl. Mit mehr als 400 Abbildgn. im Text. gr. 8°. (VII, 432 S.) Berlin, E. Toeche in Komm. N. 6; — geb. in Leinw. bar Nn. 7.

Le ciment de Portland et ses emplois dans les constructions.

Dürre (Prof. Dr. Ernst Frdr.). — Vorlesungen üb. allgemeine Hüttenkunde. Uebersichtliche Darstellg. aller Methoden der gewerbl. Metallegewinng., eingeleitet durch e. ausführl. Schilderg. aller in Betracht komm. Eigenschaften der Metalle u. ihrer Verbindgn., u. abgeschlossen durch e. Uebersicht aller wichtigeren Apparate n. Hilfsmittel. 2. Hälfte. Mit zahlreichen in den Text gedr. Abbildgn. u. den Bildnis des Verf. hoch 4° (IX u. S. 129-346.) Halle, W. Knapp. N. 16.

Leçons de métallurgie générale.

Gottgetreu (Archit. Prof. Rud.). — Lehrbuch der Hochbau-Constructionen. 1. Thl. Maurer. u. Steinmetzarbeiten (Stein-Constructionen). 2. Aufl. Mit e. Atlas v. XXXII Taf (in Kpfrst.) in Fol. u. 887 in den Text eingedr. Holzchn. Bearb. v. Prof. H. Koch. gr. 8°. (XXIV, 520 S.) B. W. Ernst und Sohn. Geb. u. in Mappe N. 30.

Traité des constructions. — Travaux de maçonnerie et de taille des pierres.

Handbuch, das, des Bautechnikers. Eine übersichtl. Zusammenfassg. der an Baugewerkschulen gepflegten techn. Lehrfächer. Hrsg. v. Archit. Baugewerksch.-Lehr. Hans Issel. V. Bd. gr. 8°. Leipzig, B.-F. Voigt. 5; — geb. N. 6.

V. Issel, Archit, Baugewerksch.-Lehr, Hans : Die Wohnungs-Baukunde, umfassend : Das freisteh. u. eingebaute Einfamilienhaus, das freisteh, u. eingebaute Miethaus, das stadt. Wohn- u. Geschäftshaus u. deren innere Einrichtg. Für den Schulge-

brauch u. die Baupraxis bearb. Mit 330 Tex illustr. u. 3 Taf. (X, 142 S.)

Manuel du constructeur technique.

Ledebur (Oberbergr. Prof. A.). — Handbuch der Eisenhüttenkunde. 3. Aufl. 1. Abth. : Einführung in die Eisenhüttenkunde. Mit zahlreichen Abbildgn. gr. 8°. (IV, 358 S.) L., A. Felix. N. 12.

Manuel de la métallurgie du fer.

Stahl und Eisen. Zeitschrift f. das deutsche Eisenhüttenwesen. Red. v. Ingen. E. Schrödter u. Gen.-Secr. Dr. W. Beumer. 19 Jahrg. 1899. 24 Hfte. Lex. 8° (1. Hft. 56 S. m. Abbildgn.. Düsseldorf, A. Bagel in Komm. Halbjährlich N. 12.

L'acier et le fer. — Revue de la métallurgie allemande.

III. — **Routes. — Ponts et Viaducs.**

Rheinbrücke, die Bonner. Festschrift zur Eröffnungsfeier am 17. XII. 1898. Hrsg. v. der Stadt Bonn. Imp. 4°. (IV, 75 S. m. Abbidlgn., 25 Taf., 1 Plan u. 1. Karte.) Bonn, E. Strauss. Geb. in Leinw. 15.

Les ponts sur le Rhin, à Bonn.

VI. — **Chemins de fer. — Tramways. -- Automobiles.**

Roda (Doc. Eisenb.-Oberingen. i. R. Mart.). — Die Sicherung des Zugverkehres auf den Eisenbahnen. Ein Lehrbuch zum Gebrauch an den k. k. österr. techn. Hochschulen u. zum Selbststudium. 1. Thl. Die Sicherg. des Zugverkehres auf der Strecke od. das Fahren in Raumdistanz. gr. 8°, VIII, 223 S. m. 141 Abbildgn). Prag. (Wien, Lehmann und Wentzel). N. 10.

La sécurité des trains sur les chemins de fer.

Eisenbahn-Technik, die, der Gegenwart. Hrsg. v. Geh. Baur. Blum, Reg.-u.Baur. v. Borries, Geh. Reg.-R. Prof. Barkhausen. 2. Bd. Der Eisenbahn-Bau. 3. Abschn. Lex. 8°. Wiesbaden, C. W. Kreidel. —II, 3. Bahnhofs-Anlagen. Bearb. v. Berndt, v. Beyer, Ebert, etc. Mit 616 Abbildgn. im. Texte u. 7 lith. (Taf. XIV u. S. 309-888 m. 1 Tab.). N. 24.

La technique des chemins de fer du temps présent. — La construction des chemins de fer. — Les gares.

Radreifenbruch-Statistik, umfassend Brüche u. Anbrüche an Radreifen u. Vollrädern. f. d. Rechnungsj. 1896. Ausgegeben v. der geschäftsführ. Verwaltg. des Vereins deutscher Eisen-

bahn-Verwaltgn. Fol. (107 u. 3 S. m. Fig.). Berlin (Wiesbaden, C. W. Kreidel.) Bar N. 10.

Statistique des ruptures de bandages pour 1896.

Statistik der im Betriebe befindlichen Eisenbahnen Deutschlands, nach den Angaben der Eisenbahn-Verwaltgn. bearb. im Reichs-Eisenbahn-Amt. XVIII. Bd Betriebj. 1897-1898. Fol. (IV, 47, 26, 19, 20, 10, 15, 56, 11, 8, 18, 12, 12, 13, 26, 10, 16, 11, 11, 8, 9, 18, 29, 14, 14, 27, 11, 12, 16, 10, 14, 10, 18, 9, 5, 29, 9 u. 3 S. m. 1 farb. Karte.) Berlin, E. S. Mittler and Sohn in Komm. Nn. 16.

Statistique des chemins de fer en exploitation en Allemagne pour l'année 1897-1898.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Gruner (Ingen. H.). — Die Kanalisation der Stadt Mülhausen. Vortrag. (Aus : " Jahresber. 1898 der industr. Gesellsch. " gr. 8°. (28 S. m. 16 Taf.) Strassburg. (Mülhausen i/E., C. Detloff.). Bar N. 4.

La canalisation de la ville de Mulhouse.

VIII. — Machines.

Bach (Baudir. Prof. C.). — Die Maschinen-Elemente. Ihre Berechng. u. Konstruktion m. Rücksicht auf die neueren Versuche. 7. Aufl. 2 Bde. Mit in den Text gedr. Abbildgn., 3 Texttaf. u. 54 Taf. Zeichngn. Lex 8° (XX, 736 u. 29 S.). Stuttgart, A. Bergsträsser. n. 30; — geb. in Halbfrz. Nn 35.

Les éléments des machines. — Calcul et construction.

Breslauer (Ingen. Ed.). — Der Maschinenbau. I. Thl. Mess-Instrumente. u. Maschinen-Elemente. Seine prakt. u. wissenschaftl. Grundlage, gemeinverständlich bearb. Mit 1462 Illustr. gr. 8°. (X, 906 C.) Leipzig, J.J-. Arnd. N. 15.

La construction des machines. — Instruments de mesure et éléments de machines.

Jahrbuch f. die gesamte Maschinen-Industrie. Unter Mitwirkg. erster Fachautoritäten aus wissenschaftl. u. prakt. Kreisen bearb. v. Prof. Dr. Frdr. Vogel. Anh. : Kalender f. d. J. 1899. Fol. (XIV, 195 S m. Abbildgn. u. Schreibkalender.) Berlin, Technolog. Verlag O. Italiener. Geb. in Leinw. bar N. 20.

Annales de l'industrie des Machines.

Keck (Geh. Reg. R. Prof. Wilh.). — Vorträge üb. Mechanik als

Grundlage f. das Maschinenwesen. 3. (Schluss-) Thl. : Allgemeine Mechanik. Mit 206 Holzschn. gr. 8°. (VIII. 280 S.) Hannover, Helwing. N. 10; — geb. N. 11,50.

Discours sur la mécanique comme base de l'art des machines.

MÜLLER (Masch.-Fabrik. Wilh.). — Die eisernen Wasserräder. Berechnung, Konstruktion u. Bestimmg. ihres Wirkungsgrades. Mit zahlreichen Beispielen aus der Praxis, Uebersichten der Grössenverhältnisse u. Gewichte, sowie Mitteilgn. üb. Leistungsversuche. Für Ingenieure, Wasserbautechniker u. Wasserwerksbesitzer. 2 Tle. Zellenräder u. Schaufelräder. Mit zahlreichen Tabellen u. Abbildgn. im Text. Lex. 8°. (VI, 143 u. IV, 167 S.) Mit e. Atlas v. 33 Taf. : Pläne ausgeführter Wasserräder. qu. Fol. (14 S. Text.) L., Veit und Co. Geh., Atlas geb. in Leinw. in-4°. N. 22.

Les roues hydrauliques en fer. — Calcul, construction et détermination de leur action.

SCHÖTTLER (Prof. R.). — Die Gasmachine. Ihre Entwickelg., hre heut. Bauart u. ihr Kreisprocess. 3. Aufl. Mit 305 Abbildgn. (im Text u. auf 9 Taf.). Gr. 8°. (X, 345 S.). Braunschweig. B. Goeritz. N. 13.

Les machines à gaz.

UHLAND (Ingen. W.-H.). — Branchen-Ausgabe des Skizzenbuchs f. den praktischen Maschinen-Constructeur. XIX. Bd. Metallbearbeitungsmaschinen. Walzwerke f. Blech-Façoneisen, Blechbiegmaschinen, Stanzen u. Scheren, Ziehpressen, Schraubenschneidmaschinen. qu. gr. 4° (60 Taf. m. III, S. Text.) Dresden, G. Kühtmann. N. 6.

Recueil de documents pour le constructeur pratique de machines.

WILDA (Herm.). — Schiffsmaschinenkunde m. besond Berücksicht der Hilfsmaschinen. Ein Handbuch f. Seedampfschiffsmaschinisten zur Vorbereitg. auf die Prüfg., sowie zum Selbstunterricht. 2. Aufl. Mit e. Atlas v. 54 Taf., enth. 850 Abbildgn. (in gr. 4°). Gr. 8°. (XVI, 456 S.) Hamburg, Eckardt und Messtorff. Geb. in Leinw. N. 16.

Les Machines de bateaux, avec diverses considérations sur les machines de secours.

IX. — Électricité appliquée.

Fortschritte der Elektrotechnik. Vierteljährliche Berichte üb. die neueren Erscheingn. auf dem Gesammtgebiete der angewanden Elektricitätslehre m. Einschluss des elektr. Nachrichten- u. Signalwesens. Hrsg. v. Dr. Karl Strecker. 10. Jahrg. Das 1. 1896. 5. (Patent-) Hft., bearb. v. Dr. Borns. gr. 8° (174 S.) B., . Springer. N. 5.

Le progrès de l'électrotechnique.

Heim (Prof. Dr. Carl). — Die Accumulatoren f. stationäre elektrische Anlagen. 3. Aufl. gr. 8°. (VI, 116 S. m. 77 Abbildgn.) Leipzig, O. Leiner. N. 3; — geb. bar N. 4.

Les accumulateurs pour stations électriques.

Kapp (Gisb.). — Dynamomaschinen f. Gleich- u. Wechselstrom. 3. Aufl. Mit 200 in den Text gedr. Fig. gr. 8° (VIII, 486 S). Berlin, J. Springer. — München, R. Oldenbourg. (Auslieferung durch. J. Springer.) Geb. in Leinw. N. 12.

Les machines dynamos.

Meissner (Ingen. G.). — Die Kraftübertragung auf weite Entfernungen u. die Konstruktion der Triebwerke u. Regulatoren. 2. Aufl. v. Ingen. Jos. Krämer. 2. Bd. gr. 8°. (XI, 400 S. m. 97 Abbildgn. u. 30 lith. Taf.) Jena, H. Costenoble. N. 18.

Le transport de la force à grande distance et la construction des machines et régulateurs.

Teichmüller (Ing. Dr. J.). — Die elektrischen Leitungen. (In 2 Tln.) 1. Tl. Wirkungsweise u. Berechng. der elektr. Gleichstromleitgn. gr. 8°. (XII, 314 S. m. 138 Abbildgn.) St., F. Enke. N. 10.

Les conducteurs électriques.

X. — Architecture.

Aufleger (Archit. Otto). — Mittelalterliche Kunstdenkmale. Bamberg u. der Dom zu Bamberg. Photographisch aufgenommen v. A. Mit geschichtl. Einleitg. v. Priv.-Doc. Dr. Art. Weese. 2. Abtlg. Fol. (30 Lichtdr.-Taf. u. 13 S. m. illustr. Text.) München, L. Werner. N 30. Kplt. in Mappe : N. 60.

Monuments du moyen âge. — Bamberg et sa cathédrale.

Gurlitt (Cornelius). — Die Baukunst Frankreichs. 6. Lfg. gr. Fol. (25 Lichtdr.-Taf.) Dresden, Gilbers. In Mappe bar N. 52.

L'architecture de la France.

HAUPT (Prof. Archit. Dr. Albr.). — Backsteinbauten der Renaissance in Deutschland. gr. Fol. (25 Taf. m. 11 S. Text.) Frankfurt a/M., H. Keller. In Mappe N. 25.

Les constructions en briques de la Renaissance en Allemagne.

KIEL (Eisenb.-Bau- u. Betriebsinsp.). — Der Umbau der Bahnanlagen in Köln a. Rhein. Nach amtl. Quellen bearb. (Aus: *Ztschr. f. Bauwesen.*) gr. Fol. (30 S. m. Abbildgn. u. 6 Taf.) Berlin, W. Ernst und Sohn. Kart. N. 10.

La reconstruction des gares de Cologne sur le Rhin.

LICHT (Stadtbaudir. Hugo). — Architektur der Gegenwart. Uebersicht der hervorragendsten Bauausführgn. der Neuzeit. Mit. Tex. v. Dr. A. Rosenberg. 18. Lfg. gr. Fol. (25 Lichtdr.-Taf. m. illustr. Text S. 17-34.) Berlin, E. Wasmuth. In Mappe N. 25.

L'architecture du temps présent.

UPMARK (Nationalmus.-Vorst. Dr. Gust.). — Die Architektur der Renaissance in Schweden (1530-1760). 3. Lfg. Fol. (20 Lichtdr.-Taf. m. illustr. Text S. 17-48.) Dresden, G. Kühtmann. In Mappe bar N. 20.

L'architecture de la Renaissance en Suède.

XII. — **Divers.**

LIEBETANZ (Fr.). — Handbuch der Calciumcarbid- u. Acetylentechnik. Nach den neuesten Fortschritten u. Erfahrgn. geschildert. Mit 257 Abbildgn. u. 7 Taf. 2. Aufl. gr. 8°. (VII, 423 S.) Leipzig, O. Leiner. N. 12; — geb. in Leinw. bar N. 13.

Manuel technique du carbure de calcium et de l'acétylène.

OUVRAGES ITALIENS.

I. — **Sciences appliquées.**

AVERONE (ing. Ant). — Ricerche idrauliche. Mantova, stab. tip.-lit. A. Mondovi e fig., 1898, 4°, p. v-89, *con otto tavole.* — 1. Formule empiriche con coefficienli costanti pel calcolo delle portate

degli orifizî chiusi e degli stramazzi. 2. Fenomeni dell' efflusso dei liquidi. 3. Principali effetti delle azioni che si producono nelle vene fluenti.

Recherches hydrauliques.

Barbusca (V.). — Tavole per facilitare la ricerca dei momenti d'inerzia e dei momenti statici delle sezioni delle travi a parete piena. Torino, tip.-lit. C. Giorgis, 1899, 8°, fig., p. 8-52.

Tables pour faciliter le calcul des sections des poutres à âme pleine.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Lanino (ing. Luciano). — Corso di costruzioni stradali e idrauliche : lezioni dette alla scuola di applicazione per gli ingegneri in Torino. Disp. 5. Torino, Unione tipografico-editrice, 1898, 4°, p. 153-192. L. I la dispensa.

Cours de constructions routières et hydrauliques.

Trattato generale teorico pratico dell'arte dell' ingegnere civile, industriale ed architetto, redatto dai professori E. Basile, C. Ceradini, E. Garuffa, E. Piazzoli, D. Spataro, G. Stabilini, G. Torricelli, G. Turazza, ecc. Fasc. 1-8. Milano, stab. tip. della casa edit. dott. Francesco Vallardi, 1899, 8°, fig., p. 1-32, 1-128, 1-64, 1-32. L. I il fascicolo. — 1. Meccanica applicata alle costruzioni, dell' ing. C. Ceradini (fasc. 1). 2. Costruzioni idrauliche, del prof. Giacinto Turazza (fasc. 2, 4, 5, 8). 3. Ingegneria sanitaria e architettura sanitaria, dell' ing. Donato Spataro (fasc. 3, 6). 4. Teoria delle macchine industriali, dell' ing. Egidio Garuffa (fasc. 7).

Traité général théorique et pratique de l'art de l'ingénieur et de l'architecte. — Mécanique appliquée.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Annali del consiglio delle tariffe delle strade ferrate; 1897 (Ministero dei lavori pubblici : r. ispettorato generale delle strade ferrate). Roma, tip. Nazionale di G. Bertero, 1898, 8°, p. 330.

Annales du Conseil des tarifs de chemins de fer.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Pozzoli (ing. Enr). — Acque potabili. Voghera, tip. Gatti, Rossi, De Foresta, 1898, 8°, p. 65.
Eaux potables.

IX. — Électricité appliquée.

Amoroso (ing. Lu.). — Le acque del Volturno utilizzate per forza motrice con l'impianto di una stazione elettrica in prossimità di Capua : studî e progetto. Napoli, tip. della Giurisprudenza, 1898, 8°, p. 101, con due prospetti.
Les eaux du Volturne utilisées comme force motrice par l'établissement d'une station électrique auprès de Capoue.

Taeggi Piscicelli (ing. Rob. relatore). — Sulla nuova convenzione per l'illuminazione elettrica della città di Napoli : studio. Napoli, tip. Monitore degli annunzi, 1898, 4°, p. 53, vij.
Sur la nouvelle convention pour l'éclairage électrique de la ville de Naples.

X. — Architecture.

Melani (Alf.). — Manuale di architettura italiana e moderna. Terza edizione rifatta Milano, Ulrico Hoepli edit. (tip. Umberto Allegretti), 1899, 16°, *fig.*, p. xxij, 459, con sessantasette tavole.
1. Architettura etrusca. 2. Architettura italo-greca. 3. Architettura romana. 4. Appendice. 5. Architettura paleo-cristiana. 6. Architettura bisantina e sue trasformazioni immediate. 7. Architettura lombarda e sue trasformazioni immediate. 8. Architettura gotica. 9. Architettura del rinascimento. 10. Architettura barocca. 11. Architettura neo-classica e moderna.
Manuel d'architecture italienne depuis les temps étrusques jusqu'à nos jours.

Paoletti (prof. Pietro). — L'architecture et la sculpture de la renaissance à Venise : recherches historico-artistiques. Seconde partie (La Renaissance), traduit par M. Le Monnier. Venise, Ferdinando Ongania édit. (impr. Emilienne), 1899, 8°, p. 375.

XI. — Administration. — Législation.

LION (avv. Arturo). — Manuale di ingegneria legale, per tecnici e giuristi. Milano, Ulrico Hoepli edit. (tip. Lombardi di M. Bellinzaghi), 1898, 16°, p. viij, 552.

Manuel de l'Ingénieur au point de vue légal.

1899. — 2e TRIMESTRE.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE D'INSERTION.

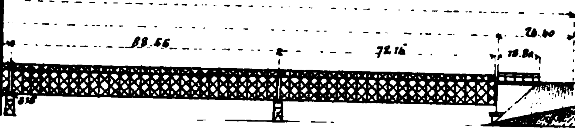
L'Éditeur Gérant : Vve Ch. Du...

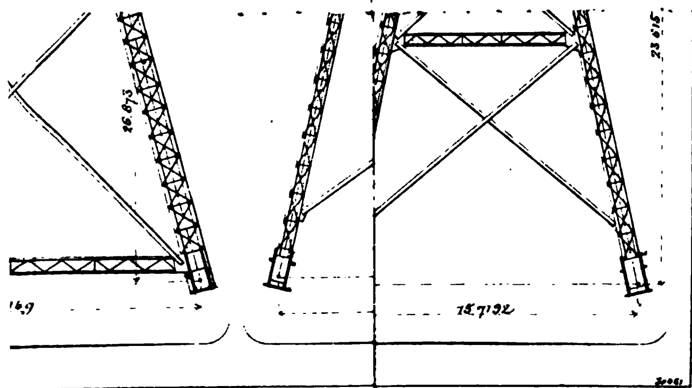
TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

1899 Pl.1.

·ojets d'

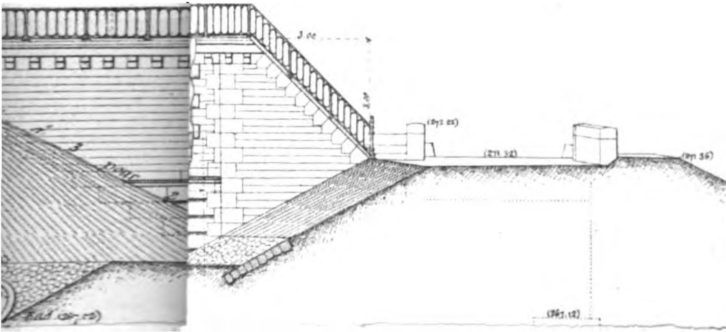
60.00 80.00 48.30 17.60


72.14



urtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

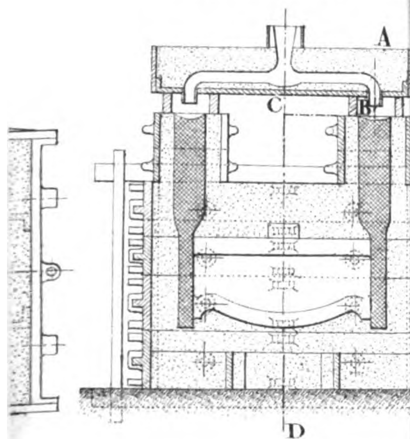
g.2. Demi-élév longitudinale de la bâche

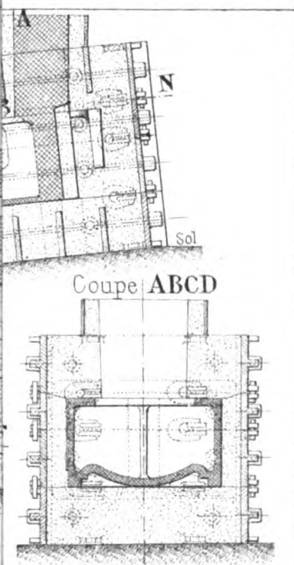


udinale
tephenson)

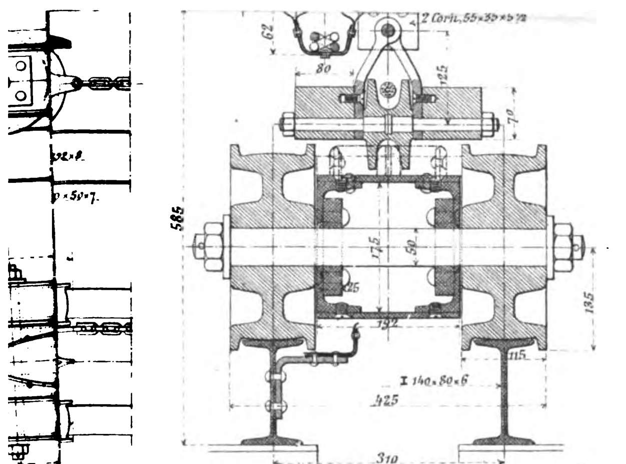
Corn. 120 × 120 × 16

ɌY





ıer, 43, rue de Dunkerque, Paris



Auto-Imp L Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

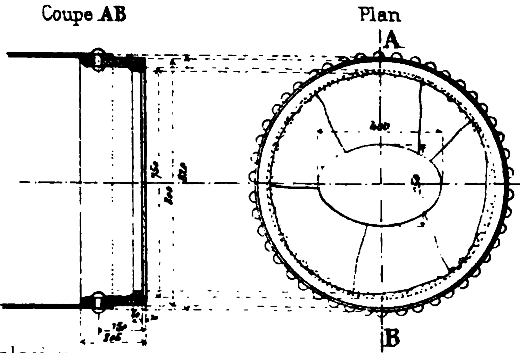
Fig.

rrière

de

Fig. 13. Bouchon en fonte situé à la partie arrière du réchauffeur

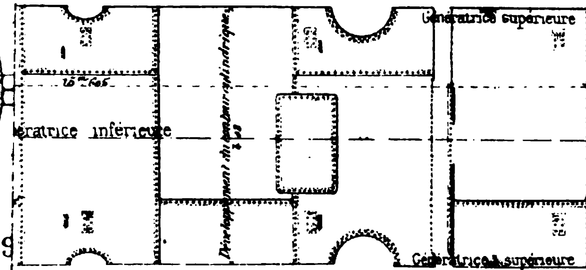
Coupe AB | Plan



pe

rès l'explosion

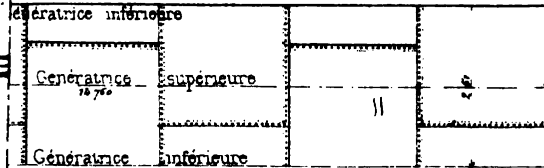
re du corps cylindrique développé



8 et 9

ieure du réchauffeur développé

ig. 8.



. **14** à **17**. Explosion de recipient (6 Avril 1897)

Croquis du récipient endommagé (2e recipient)

hori

vercl

Fig. 16.

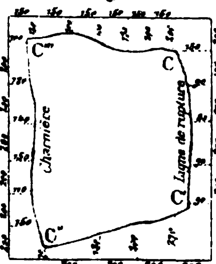
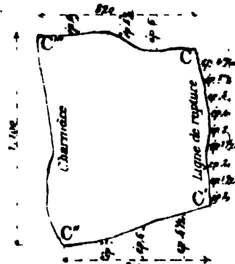


Fig. 17.



ausse

r. de gauche
à la génératrice inférieure

70%
nt de la 3e virole

emblage

Fig. 4 à 7. Explosion de récipient dans une brasserie à Paris. 13 Avril 1897

Fig. 4. Coupe MN

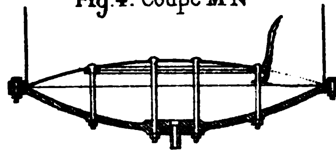


Fig. 5.
Plan
(Vue en-dessus)

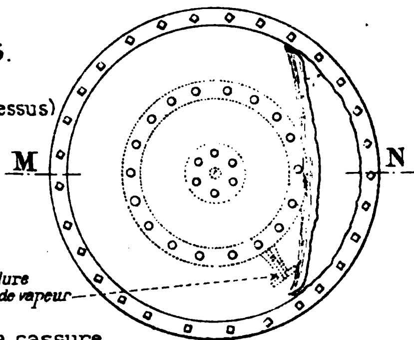


Fig. 7. Détail de la cassure

(Côté du bain liquide)

(Côté de la vapeur)

19. Cylindre sécheur isolé (17 Juin 1897)

Fig. 17. Plan du fond avant et après l'explosion.

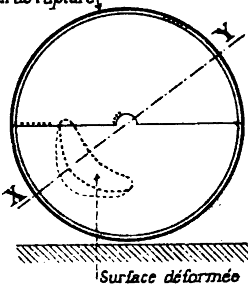


Fig. 18. Coupe XY du fond après l'explosion

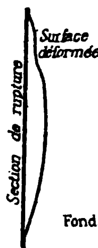
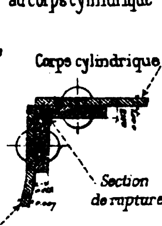


Fig. 19. Coupe de la cornière reliant le fond au corps cylindrique



de chaudière Belleville (14 Juillet 1897)

Fig. 20.

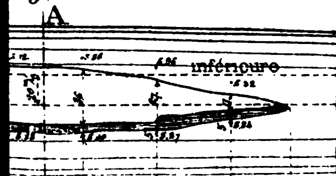
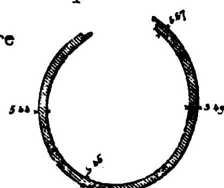


Fig. 21.
Coupe suivant AB



1 à 16. Explosion d'une locomobile-batteuse
8 Août 1897

du foyer
du foyer

Fig. 13 Fig. 14. Fig. 15.

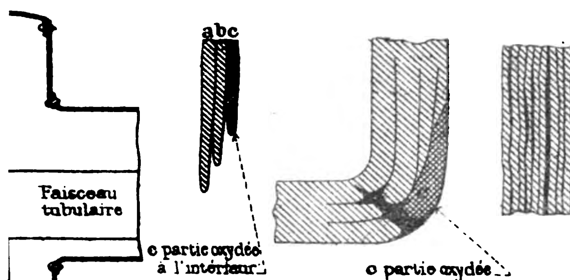


Fig. 16.
Développement de l'enveloppe du foyer et cassures
Vue extérieure

ure du cadre
cal
du foyer est
hachurée

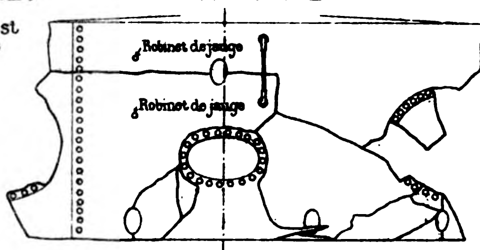


Fig. 22 et 23. Explosion d'une locomobile à Boos
29 Août 1897

Fig. 22. Développement du ciel du foyer

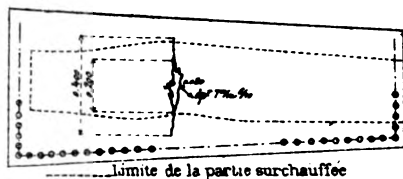
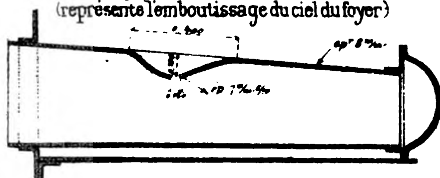


Fig 23. Coupe horizontale
(représente l'emboutissage du ciel du foyer)



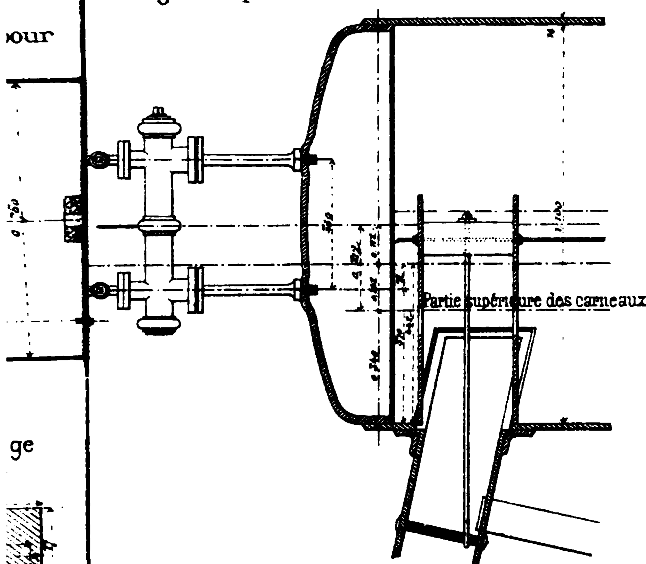
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

ur se 7)

hot

our

Fig. 11. Disposition de l'indicateur de niveau à tube

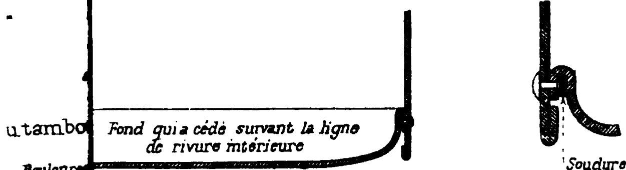


ge

Fig. 12 et 13. Explosion du 26 Novembre 1897

Fig. 12. Coupe

Fig. 13. Détail de l'assemblage du fond

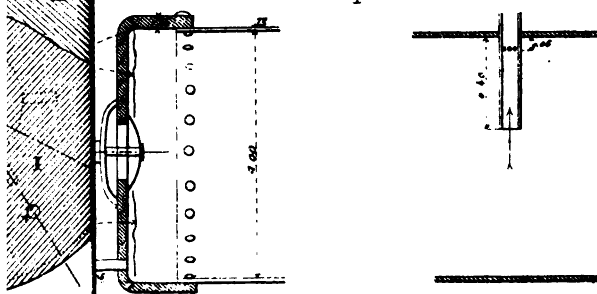


u tambo

Boulon re
cuivre

upture d'un bouilleur réchauffeur le 26 Décembre 1897

Coupe



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Treuil et palan de lançage

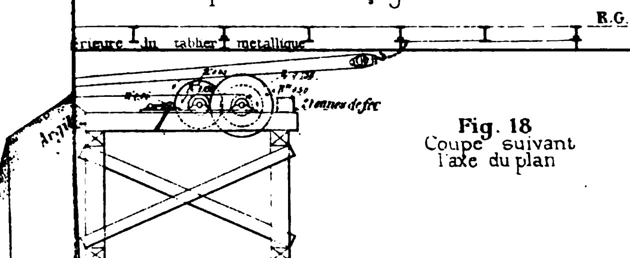
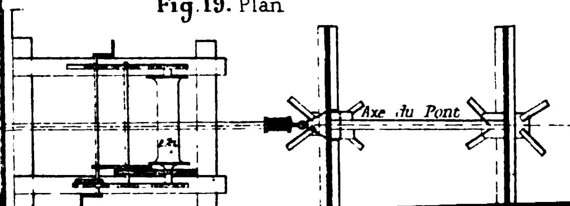


Fig. 18
Coupe suivant l'axe du plan

Fig. 19. Plan



…elage élastique sur le truck et d

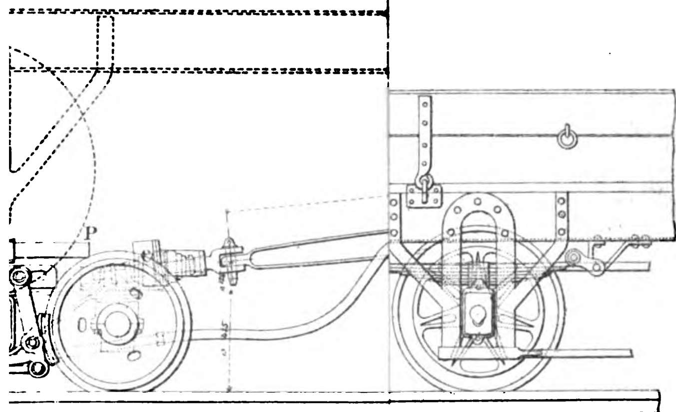
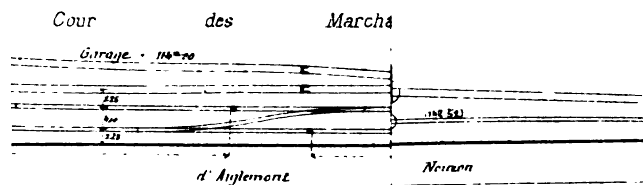


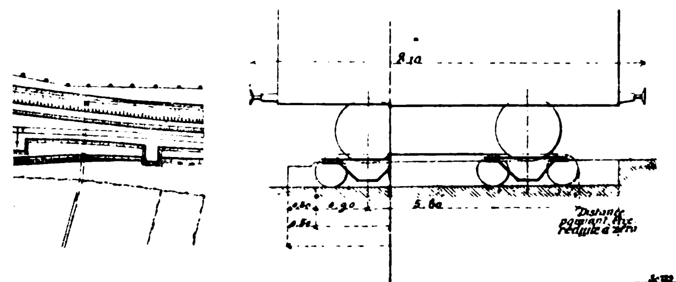
Fig. 2.

Plan des installations des voies



…bordement

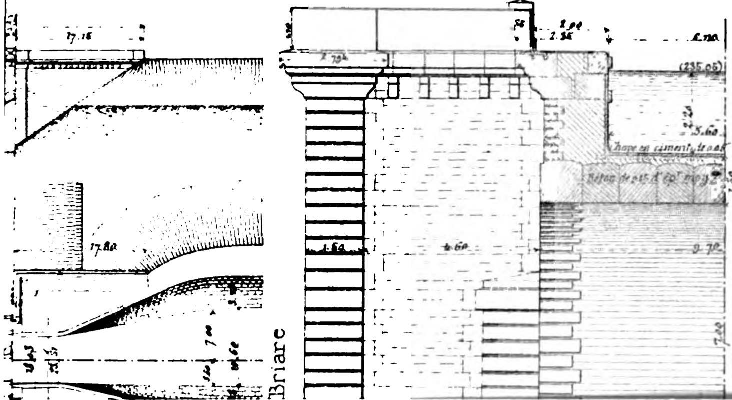
…t des wagons



Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

1899 Pl. 14.

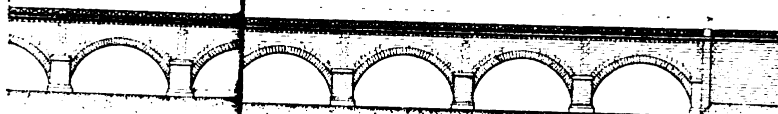
½ Coupe transversale
Échelle 0m005 p m

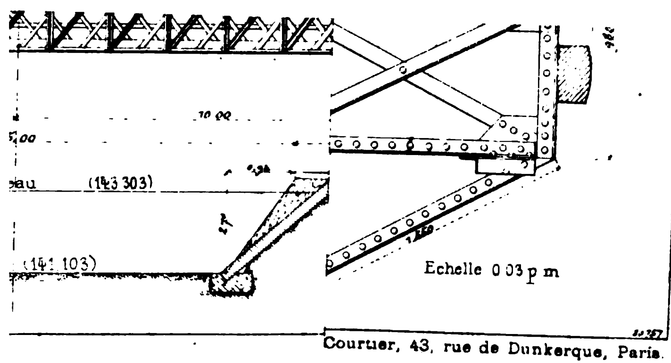


DU CANAL LATÉ

1899 Pl. 15

PON





Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

S DE COR

Détails de l

Poutr

Pont et Axe de symétrie

AC

gues dé
entales

poutre

